



Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения

А.И. Кармалов¹, Ю.Л. Сколубович²,
Р.В. Чупин^{3✉}, Мелехов Е.С.⁴

^{1,2}Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия

^{3,4}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Вопросы интенсификации работы водозаборных скважин, их безопасности для населения и надежности функционирования являются актуальными и важными в эксплуатационной практике систем водоснабжения населенных мест и городов. Из-за отсутствия нормативной и законодательной базы эксплуатации водозаборных скважин, несовершенных правил их содержания, несвоевременных текущих и капитальных ремонтов многие из них работают неэффективно, закольматированы и прежде времени вышли из строя. Большой процент вышедших из строя скважин консервируются без попыток их восстановления. Вместо этого пробуриваются новые скважины, что наносит значительный ущерб окружающей среде и недрам земли. Для восстановления вышедших из строя и повышения эффективности еще находящихся в работе требуется провести исследования процессов образования значительного количества осадков, наметить пути их удаления и предотвращения. В конструкциях водозаборных скважин используются обсадные трубы, проволочные и сетчатые фильтры, состоящие из каркасов с щелевыми отверстиями различного диаметра. Все элементы изготавливаются из стали, поэтому подвержены коррозии и биообрастанию, отличаются низкой эффективностью, надежностью и долговечностью. Важными показателями являются учет вещественного состава отложений, их структурные и минералогические особенности, закономерности и механизмы формирования осадков. В статье приведены результаты исследований процессов химического, физико-химического, биологического и бактериологического кольматажа фильтров водозаборных скважин, раскрыты механизмы этих процессов, разработаны средства диагностики, созданы новые технологии и установки для восстановления вышедших из строя скважин, сформулированы правила их эффективной эксплуатации.

Ключевые слова: водозаборные скважины для питьевого водоснабжения, кольматация, методы очистки, фильтры из полиэтилена

Для цитирования: Кармалов А.И., Сколубович Ю.Л., Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Исследование процессов вторичного минералообразования в водопроводных скважинах питьевого назначения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 4. С. 735–745. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-735-745>. EDN: JMNAQW.

Original article

Investigation of secondary mineral formation in potable water intake wells

Alexander I. Karmalov¹, Yuriy L. Skolubovich²,
Roman V. Chupin^{3✉}, Evgeny S. Melekhov⁴

^{1,2}Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

^{3,4}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The intensification of the operational efficiency of water intake wells, their reliability and safety for the population are considered relevant in terms of the operational practice of water supply sys-

tems for urban areas. Due to the lack of regulatory and legislative frameworks for water intake wells, inadequate maintenance protocols, as well as untimely routine and major repairs, many of these wells operate inefficiently, become clogged, and prematurely come out of action. A considerable percentage of non-functional wells are put into conservation without any restoration. Instead, new wells are drilled, causing significant harm to the environment and the earth's interior. In order to restore non-functional wells and enhance the efficiency of those still in operation, it is essential to investigate the processes that lead to the substantial accumulation of sediment, and to identify methods for their removal and prevention. The construction of water intake wells involves casing pipes and wire or mesh filters, which consist of frameworks with slot openings of various diameters. All components are made of steel, and are thus susceptible to corrosion and biofouling. They exhibit low efficiency, reliability, and durability. Important indicators include consideration of the material composition of sediments, their structural and mineralogical characteristics, as well as the mechanisms of sediment formation. The paper presents the results of the investigation of chemical, physicochemical, biological, and bacteriological clogging of water intake well filters, as well as discovers the mechanisms of these processes, develops diagnostic tools, introduces new technologies and systems for the restoration of non-functional wells, and, finally, provides guidelines for their effective operation.

Keywords: water intake wells for drinking water supply, colmatation, cleaning methods, polyethylene filters

For citation: Karmalov A.I., Skolubovich Y.L., Chupin R.V., Melekhov E.S. Investigation of secondary mineral formation in potable water intake wells. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(4):735-745. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-4-735-745>. EDN: JMNAQW.

ВВЕДЕНИЕ

В результате откачки воды из водоносных слоев и горизонтов на поверхности трубопроводного ствола скважин, оборудования и фильтров формируются твердые минеральные образования из различных солей.

В значительных объемах подобные отложения накапливаются в окрестностях скважин, включая зоны фильтров и оборудование, такое как насосы, счетчики воды и трубопроводы. Их можно заметить на фильтрах водозаборных узлов и скважин.

Например, на крупных водозаборах, подобных Томскому, в пределах околоскважинного пространства и фильтрационных зон, ежегодно образуется несколько сотен тонн разнообразных осадочных материалов (табл. 1)¹.

Профессором Дутовой Екатериной Матвеевной из Национального исследовательского Томского политехнического университета совместно с Кармаловым Александром Ивановичем проведена оценка состава отложений, минеральных новообразований водоподъемного и фильтрующего оборудования скважин водозаборов г. Томска, Северска и Асино. Это

необходимо для подбора оптимального реагента для растворения колюматанта, препятствующего нормальной работе скважин. Лабораторный анализ проб воды, взятых из эксплуатационных и наблюдательных скважин, свидетельствует о том, что техногенное загрязнение затронуло водоносный комплекс палеогеновых отложений.

Это проявляется в увеличении показателей общей минерализации, а также концентраций хлоридов, сульфатов и аммония на некоторых участках водозаборной территории.

В результате химический состав вод претерпел изменения – вместо привычных гидрокарбонатных кальциевых вод стали преобладать гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные растворы с высоким содержанием катионов натрия.

При этом могут образовываться пленки различной толщины.

По мере ее увеличения под действием силы тяжести происходит отрыв пленок и оседание их в отстойнике или на забое. Коррозионные процессы приводят к образованию многочисленных питтингов и язв из-за чего водоподъемное оборудование приходит в негодность.

¹Ведение мониторинга подземных вод на лицензионных участках пользования недрами ООО «Томскводоканал» (Томский водозабор): отчет. Томск: Томскводоканал, 2024. 109 с.

Таблица 1. Масштабы образования осадков на фильтрах водозаборов из подземных источников Томской области по данным за 2023 г.

Table 1. The scale of sediment formation on filters of water intakes from underground sources in the Tomsk region according to data for 2023

Водозабор	Производительность (тыс. м ³ /сут) 2002 г.	Производительность (тыс. м ³ /сут) 2024 г.	Потери вещества на фильтрах, (мг/дм ³) 2002 г.		Потери вещества на фильтрах, (мг/дм ³) 2024 г.		Образование осадка, (т/г.) 2002 г.		Образование осадка, (т/г.) 2024 г.	
г. Томск	231,8	143,232	5	1,5	4	1,2	423	141	91,6	30,5
г. Северск	50,26	44,56 (20,00+24,56)	5	1,5	5	1	91,6	30,5	74,8	37,4
г. Асино	12,5	10,0	8	4	8	4	74,8	37,4	91,6	30,5

Техногенное загрязнение хлоридами и сероводородными соединениями приводит к изменению геохимических особенностей воды в подземных горизонтах.

Изменения геохимических условий вызывают усиление агрессивности среды к металлическим и железобетонным конструкциям инженерных сооружений водозабора.

На водозаборных скважинах зачастую регистрируются эпизоды коррозии элементов водоподъемного оборудования и практически полное закупоривание сечения труб железосодержащими отложениями (рис. 1). Как правило, этот процесс сопровождается зарастанием фильтра, которое интенсивно проявляется с его внутренней стороны:

размер отверстий уменьшается из-за осаднения в них различных минерализованных веществ (рис. 2, 3).

Трансформация химического состава воды инициирует процесс кристаллизации вторичных минеральных соединений, что приводит к образованию твердых отложений на технологическом оборудовании, используемом на водозаборных станциях. Эти минеральные осадки формируются в прискважинной зоне, в области расположения фильтров, а также непосредственно на поверхности оборудования (включая насосы, водомеры, трубопроводы). Отложения появляются в фильтрах водозаборных систем, распределительных сетях, сантехническом оборудовании и бытовых устройствах.



Рис. 1. Водоподъемные трубы артезианской скважины
Fig. 1. Water-lifting pipes of an artesian well



Рис. 2. Фильтр артезианской скважины.
Отдельные отверстия фильтра перекрыты кольматантами
Fig. 2. Artesian well filter. Individual filter holes are blocked with colmatants



Рис. 3. Отложения на фильтре артезианской скважины
Fig. 3. Deposits on the filter of an artesian well

МЕТОДЫ

Как показали исследования, кольматирующие отложения водозаборов Западно-Сибирского региона, закупоривающие водоприемную часть и прифильтровую зону скважин, имеют множество различных компонентов [1–3]. На рис. 4 представлены осадки внутри

водоподъемной трубы артезианской скважины, образовавшиеся в течение года. Толщина слоя составляет 3 см. Столь интенсивное осадкообразование связано с особенностями химического состава подземных вод участка. Было отмечено, что осадконакопление более развито на высокодебитных скважинах водозабора № 1.

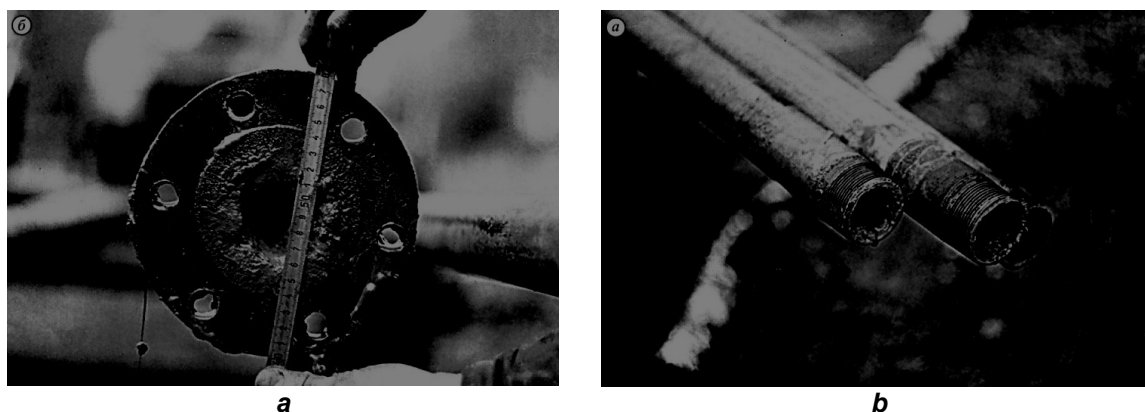


Рис. 4. Осадки на внутренних поверхностях водоподъемных труб (а) и насосного фланца (b)
Fig. 4. Sedimentation on the internal surfaces of water-lift pipes (a) and pump flange (b)

Подземные воды эксплуатируемого на участках водозаборов № 1 и № 2 Северского месторождения водоносного комплекса характеризуются природно-повышенными концентрациями железа общего (0,42–16 мг/л) [4].

Срок службы этих скважин, глубиной от 50 до 130 м, которые были оборудованы сетчатыми фильтрами диаметром 325 мм и

длиной от 15 до 20 м, варьируется от 30 до 60 лет. Отбор образцов кольматантов производился в специальные ловушки во время проведения телеинспекций скважин (рис. 5, 6).

Химический состав отложений определяли в Проблемной научно-исследовательской лаборатории и лаборатории грунтоведения и механики грунтов (рис. 7).

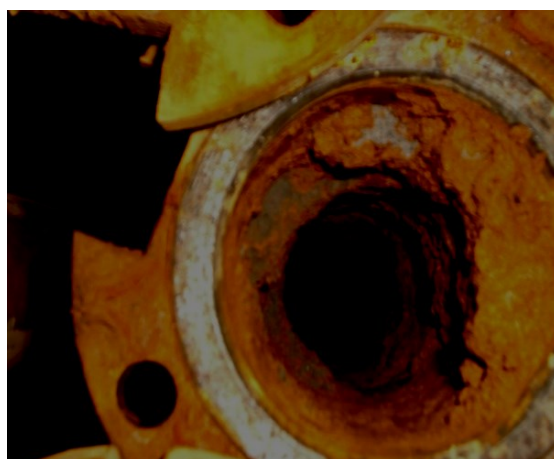


Рис. 5. Осадки в водоподъемной трубе на скважине № 14 водозабора № 1
Fig. 5. Sediment in the water-lift pipe at well № 14 of water intake № 1

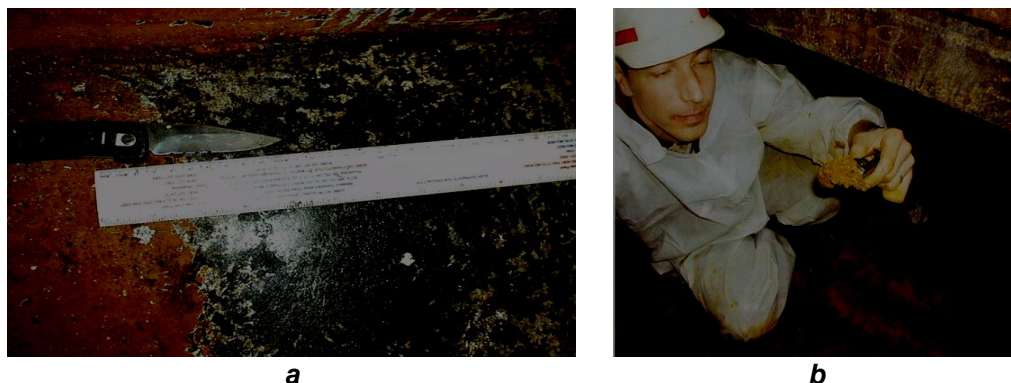


Рис. 6. Характер отложений на оборудовании (а), ловушка с осадком (b)
Fig. 6. The nature of deposits on the equipment (a), trap with sediment (b)



Рис. 7. Определение химического состава отложений водозаборов
Fig. 7. Determination of the chemical composition of water intake deposits

В табл. 2 представлены результаты химического анализа кольяматанта, который представляет собой сложную систему. Он состоит из солей кальция, магния и марганца в форме карбонатов, а также из соединений железа: гидроксида, оксида, сульфата и фосфата.

Данные о содержании веществ представлены в виде показателей

содержания оксидов основных элементов. Например, значение Fe_2O_3 отражает общее количество всех соединений железа в образце. Это могут быть такие соединения, как $\text{Fe}(\text{OH})_3$, Fe_2O_3 , FePO_4 , FeS . Следовательно, значения CaO , MnO и MgO показывают содержание соответствующих карбонатов: CaCO_3 , MnCO_3 и MgCO_3 . Потери

при прокаливании (при температуре 900 °С)	CaCO ₃	Прокал.	CaO + CO ₂	(1)
указывают на количество веществ, которые улетучиваются в процессе разложения.	MgCO ₃	Прокал.	MgO + CO ₂	(2)
Соответственно, карбонатов – углекислый газ	MnCO ₃	Прокал.	MnO + CO ₂	(3)
CO ₂ , а при прокаливании гидроксида железа – пары воды H ₂ O согласно реакциям:	2Fe(OH) ₃	Прокал.	Fe ₂ O ₃ + 3H ₂ O	(4)

Таблица 2. Химический состав отложений водозаборов

Table 2. Chemical composition of water intake deposits

Место отбора кольматанта	Содержание по весу, %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП	FeO
Скважины Томского водозабора	4,92	0,29	63,89	0,92	7,72	< 0,2	0,03	0,15	7,63	0,24	14,71	0,36
Скважины Северского водозабора	4,55	0,31	70	5	3,47	< 0,02	0,1	0,21	1,12	0,34	15,37	0,78
Скважины Орловского водозабора (г. Асино)	7,72	0,57	68,73	1,5	3,86	0,56	0,1	0,15	2,88	0,2	14,22	0,84

Примечание: ППП – потери при прокаливании

Анализ проб осадка, собранного с электропогружных насосов, показал, что его химический состав преимущественно состоит из гидроксидов железа Fe(OH)₃.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На технологическом оборудовании водозаборных систем формируются два основных типа минеральных отложений: аморфные охристые осадки и минералы с устойчивым структурированным каркасом. С генетической точки зрения оба этих типа осадков имеют сходство: они образуются в результате изменения физико-химических характеристик окружающей среды, тогда как различия в их морфологии определяются гидродинамическими условиями формирования.

Охристые отложения формируются преимущественно в зонах активного движения воды, включая фильтрующие элементы и подъемные трубы эксплуатационных скважин, погружные насосы и контрольно-измерительную аппаратуру. Также они могут накапливаться в процессе осаждения воды после промывки зернистых фильтров. Концентрация охры изменяется: вблизи

поверхности она имеет консистенцию густой сметаны, а ближе к центру становится плотнее, напоминая пасту. При высыхании охра твердеет, но сохраняет способность к измельчению до порошкообразного состояния.

Второй тип минеральных новообразований образуется на зерновой загрузке фильтров водоочистных сооружений. Эти отложения обладают концентрически-слоистой структурой, характеризующейся чередованием слоев различной толщины и окраски, и на основании комплекса признаков идентифицируются как оолиты [3, 4].

После сушки на воздухе их структура остается неизменной, и разрушение возможно исключительно под действием механических нагрузок².

Частицы взвесей оседают на поверхности зерен, образуя пленку, толщина которой постепенно увеличивается, несмотря на периодическое удаление при промывках фильтра.

Исследование состава и структуры оолитов было выполнено с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA I LMU, оборудованного энергодисперсионным

²Ламинский А.И., Климова Н.А., Пушкарева А.Г. Ведение мониторинга подземных вод в зонах санитарной охраны водозаборов № 1 и 2 г. Северск: технический отчет. Томск, 2010. 175 с.

спектрометром INC A Energy, в Центре коллективного пользования Аналитического центра геохимии природных систем Томского государственного университета.

Электронная микроскопия позволила выявить концентрически-слоистую структуру пленочных осадков, образовавшихся вокруг зерен загрузки. Толщина осадочной пленки варьирует в зависимости от продолжительности эксплуатации фильтра и может достигать значений от долей миллиметра до 1 мм [5]. В рассматриваемом случае толщина индивидуальных слоев пленки колеблется в пределах от 10 до 45 мкм.

В рамках исследования также были выявлены дополнительные факторы, оказывающие негативное влияние на оборудование эксплуатационных скважин. Это связано с обнаружением повышенного содержания растворенных газов углеводородного происхождения в подземных водах водозабора № 1 г. Северска. Особое внимание привлекло наличие метана в подземных водах. Хотя основными газообразными компонентами, присутствующими в воде, являются азотистые соединения, обогащенность палеогеновых пород (в частности, Новомихайловской свиты) органическими веществами природного и антропогенного происхождения приводит к увеличению объемов образования метана на некоторых участках подземной водной системы. Содержание метана в воде скважин водозаборов варьирует в диапазоне от 0,03 до 4 мл/л. Максимальная концентрация этого газа отмечается в северо-западной и юго-восточной частях водозаборного участка, минимальная – в юго-западной. Колебания уровня метана объясняются изменениями гидрохимического состояния, вызванными техногенными загрязнениями подземных вод на определенных территориях, а также нарушением режима водоотбора в скважинах или техническими неполадками в их функционировании [6].

Повышение концентрации метана в извлекаемой воде может способствовать активизации жизнедеятельности метанобразующих бактерий. В условиях стагнации воды в трубопроводе, например, при остановке скважины, перекрытии задвижек и иных аналогичных ситуациях, процессы метанообразования усиливаются [7, 8]³.

Микробиологические анализы подземных вод выявили присутствие метанобактерий во всех 20 исследованных пробах воды, отобранных из скважин водозабора. Эти микроорганизмы создают потенциальную угрозу для инженерных конструкций водозаборных комплексов, способствуя возможному накоплению метана в павильонах скважин и колодцах.

В сочетании с другими видами бактерий, обитающих в водоносных горизонтах (денитрифицирующими, сульфатредуцирующими, нитрифицирующими, гетеротрофными и углеводородокисляющими), они формируют агрессивную коррозионную среду [9–13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ динамики изменения гидрогеохимических параметров водозаборов, обеспечивающих население питьевой водой из подземных источников, выявил причины временных флуктуаций гидрогеохимических показателей разрабатываемых месторождений.

Основным фактором этих изменений выступает нарушение гидродинамического и гидрогеохимического режимов из-за длительной эксплуатации при повышенном техногенном воздействии. Исследование микробиологического состава подземных вод водозабора № 1 г. Северска продемонстрировало наличие значительного количества и разнообразия физиологических групп микроорганизмов, способных оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на качество воды и состояние скважинного оборудования.

Интенсивность образования осадков и развития коррозии на оборудовании водозаборных скважин определяется несколькими факторами: производительностью скважин (наиболее интенсивная кольматация и инкрустация наблюдаются у высокопродуктивных скважин), химическим составом подземных вод, а также наличием многочисленных бактериальных сообществ, вовлеченных в разложение органических и минеральных соединений. Увеличение техногенной и антропогенной нагрузки, наряду с активизацией метанобразующих бактерий, ведет к росту численности этих микроорганизмов, совместно с другими бактериями создающих агрессивную коррозионную среду. Изменение химического

³Шинкаренко В.П. Информационно-аналитическая записка по изучению микрофлоры подземных вод и ее коррозионной активности (водозаборы г. Северска). Томск, 2001. 93 с.

состава воды стимулирует вторичное минералообразование и формирование осадков на технологическом оборудовании. Эти осадочные отложения представляют собой полиминеральный конгломерат, основу которого составляет железистая фаза, в то время как фосфатная и карбонатная фазы играют вспомогательную роль.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. 247 с.
2. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии. Пенза: Пензенский государственный университет, 2000. 211 с.
3. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 16–20. EDN: OEZKCJ.
4. Наливайко Н.Г. Микробиология воды. Томск: Томский политехнический университет, 2011. 138 с.
5. Покровский Д.С. Качество природных питьевых вод и технологии водоподготовки в условиях юга Сибирского региона. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2006. 97 с.
6. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 384. С. 189–197. EDN: SIPACL.
7. Рогов Г.М., Покровский Д.С., Дутова Е.М. Некоторые проблемы водоподготовки на водозаборах из подземных источников // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1993. № 9. С. 98–102. EDN: TAZGEP.
8. Корценштейн В.Н. Растворенные газы подземной гидросферы. М.: Недра, 1984. 230 с.
9. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Применение полимерных фильтров «Экотон» при восстановлении и бурении скважин на воду // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 9. С. 10–14. EDN: HSDNRL.
10. Кармалов А.И., Филимонова С.В. Анализ причин кольматации и коррозии оборудования водозаборных скважин в условиях повышенной техногенной нагрузки // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 16–20. EDN: OEZKCJ.
11. Сиволов Г.Е., Кармалов А.И., Медриш Г.Л., Писков М.В., Панчук С.А., Зорин А.П. Опыт эксплуатации и совершенствование системы обеззараживания воды с использованием гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 28–32. EDN: OEZKDN.
12. Сколубович Ю.Л., Кармалов А.И., Войтов Е.Л., Сколубович А.Ю. Очистка и утилизация промывных вод станций обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 9-1. С. 34–39. EDN: OEZKDX.
13. Мартыненко Г.Д., Найманов А.Я., Найманова А.А., Кармалов А.И. Реконструкция сооружений повторного использования промывной воды фильтров станции обезжелезивания // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 14–20. EDN: DSIQYN.

REFERENCES

1. Gol'dberg V.M. *The Relationship Between Groundwater Pollution and The Natural Environment*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 247 p. (In Russ).
2. Mal'tseva G.N. *Corrosion and Protection of Equipment from Corrosion*. Penza: Penza State University, 2000. 211 p. (In Russ).
3. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of Causes of Colmatage and Corrosion of Water-Intake Well Equipment Under Conditions of Increased Anthropogenic Load. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:16-20. (In Russ). EDN: OEZKCJ.
4. Nalivaiko N.G. *Microbiology of Water*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2011. 138 p. (In Russ).
5. Pokrovskii D.S. *Quality of Natural Drinking Water and Water Treatment Technologies in The Conditions of the South of the Siberian Region*. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2006. 97 p. (In Russ).
6. Pokrovsky D.S., Dutova E.M., Balobanenko A.A., Pokrovsky V.D., Rekhtin A.F. Hydrogeoecological Condition of the Water Supply of the Population of the South of Siberia. *Tomsk State University Journal*. 2014;384:189-197. (In Russ). EDN: SIPACL.

7. Rogov G.M., Pokrovskii D.S., Dutova E.M. Some Problems of Water Treatment at Water Intakes from Underground Sources. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1993;9:98-102. (In Russ). EDN: TAZGEP.
8. Kortsenshtein V.N. *Dissolved Gases of the Underground Hydrosphere*. Moscow: Nedra, 1984. 230 p. (In Russ).
9. Karmalov A.I., Filimonova S.V. The Use of Polymer Filters Ecoton in The Course of Restoration and Drilling of Wells for Water. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2005;9:10-14. (In Russ). EDN: HSDNRL.
10. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of Causes of Colmatage and Corrosion of Water-Intake Well Equipment Under Conditions of Increased Anthropogenic Load. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:16-20. (In Russ). EDN: OEZKCJ.
11. Sivolov G.E., Karmalov A.I., Medrish G.L., Piskov M.V., Panchuk S.A., Zorin A.P. Experience in Operation and Enhancement of Water Disinfection System with The Use of Sodium Hypochlorite. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:28-32. (In Russ). EDN: OEZKDN.
12. Skolubovich Yu.L., Karmalov A.I., Voytov E.L., Skolubovich A.Yu. Treatment and Utilization of Wash Water of High-Rate Filters of Deferrization Stations. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2011;9-1:34-39. (In Russ). EDN: OEZKDX.
13. Martynenko G.D., Naimanov A.Ya., Naimanova A.A., Karmalov A.I. Reconstruction of The Facilities for Reusing Wash Water from De-Ironing Plant Filters. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2020;10:14-20. (In Russ). EDN: DSIQYN.

Информация об авторах

Кармалов Александр Иванович,
аспирант,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
заместитель директора,
ООО «Томскводоканал»,
634021, г. Томск, ул. Елизаровых, 79/2, Россия,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

Сколубович Юрий Леонидович,
д.т.н., профессор, член.-корр. РААСН,
ректор,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
e-mail: rector@sibstrin.ru
Author ID: 437079

Чупин Роман Викторович,
д.т.н., профессор кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909>
Author ID: 504512

Information about the authors

Alexander I. Karmalov,
Postgraduate Student,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
Deputy Director
of LLC TomskVodokanal,
79/2 Elizarovyh St., Tomsk 634021,
Russia,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
<https://orcid.org/0009-0006-3239-5926>
Author ID: 891094

Yuriy L. Skolubovich,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Corresponding Member of the RAACS,
Rector,
Novosibirsk State University of Architecture
and Civil Engineering (Sibstrin),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
e-mail: rector@sibstrin.ru
Author ID: 437079

Roman V. Chupin,
Dr. Sci. (Eng.),
Professor of the Department of Urban
Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: ch-r-v@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6163-909>
Author ID: 504512

Мелехов Евгений Сергеевич,

к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: melechov@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>
Author ID: 381662

Evgeny S. Melekhov,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: melechov@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0006-5307-7388>
Author ID: 381662

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 29.08.2024.
Одобрена после рецензирования 18.09.2024.
Принята к публикации 19.09.2024.

Information about the article

The article was submitted 29.08.2024.
Approved after reviewing 18.09.2024.
Accepted for publication 19.09.2024.