

Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 62–70.

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 628.19

DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70

АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Юрий Леонидович Сколубович¹, Александр Иванович Кармалов²,
Анна Александровна Цыба¹

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин);
г. Новосибирск, Российская Федерация;

² ООО «Томскгидропроект», г. Томск, Российская Федерация

Статья посвящена анализу воздействия антропогенных факторов на качество воды из подземных источников водоснабжения. Рост населения, расширение промышленного и сельскохозяйственного производства, а также неправильное обращение с отходами приводят к проникновению различных загрязнителей в водоносные горизонты. Эти процессы создают серьезные экологические и санитарные проблемы, поскольку загрязненные воды могут оказывать негативное влияние на здоровье населения, вызывать ухудшение состояния окружающей среды и деградацию природных ресурсов, что в долгосрочной перспективе затрудняет использование подземных вод как безопасного источника питьевой воды. В статье рассмотрены основные источники антропогенного загрязнения водоносных горизонтов и характерные загрязняющие вещества, вызывающие изменения химического, микробиологического состава подземных вод, что приводит к формированию осадков на технологическом оборудовании. В ходе анализа микробиологического состава было выявлено большое разнообразие микроорганизмов, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на качество воды и состояние оборудования, усиливая коррозионную активность. В результате можно сделать вывод, что антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения ведет не только к ухудшению качества воды, делая ее непригодной для питья, но и увеличивает износ оборудования систем. Важными мерами профилактики являются наличие зоны санитарной охраны (ЗСО) вокруг водозаборных сооружений, своевременное техническое обслуживание оборудования, а также системы водоподготовки и обеззараживания, обеспечивающие безопасность и качество подземных вод.

Ключевые слова: подземные источники водоснабжения, антропогенное загрязнение, качество воды, экология, микробиологический состав подземных вод, коррозия

Для цитирования: Сколубович Ю.Л., Кармалов А.И., Цыба А.А. Антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения: проблемы и решения // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2026. № 1. С. 62–70. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70

ANTHROPOGENIC CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER SOURCES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Yuri L. Skolubovich¹, Alexander I. Karmalov², Anna A. Tsyba¹

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin); Novosibirsk, Russian Federation;

² LLC Tomskgidroproekt; Tomsk, Russian Federation

Article is dedicated to analyzing the impact of anthropogenic factors on the quality of water from underground water sources. Population growth, expansion of industrial and agricultural production, as well as improper waste management, lead to the infiltration of various pollutants into aquifers. These processes create serious ecological and sanitary problems, as contaminated water can negatively affect public health, cause environmental degradation, and lead to the deterioration of natural resources. In the long term, this complicates the use of underground water as a safe drinking water source. The article reviews the main sources of anthropogenic contamination of aquifers and the characteristic pollutants that cause changes in the chemical and microbiological composition of groundwater, as well as the formation of deposits on technological equipment. During the analysis of the microbiological composition, a wide diversity of microorganisms was identified, which can have both positive and negative impacts on water quality and equipment condition, often increasing corrosion activity. As a result, it can be concluded that anthropogenic pollution of underground water sources not only degrades water quality, making it unsuitable for drinking, but also accelerates the wear and tear of system equipment. Key preventive measures include establishing a sanitary protection zone (SPZ) around water intake facilities, timely maintenance of equipment, as well as water treatment and disinfection systems to ensure the safety and quality of underground water.

Keywords: underground water sources, anthropogenic pollution, water quality, ecology, microbiological composition of groundwater, corrosion

For citation: Skolubovich Yu.L., Karmalov A.I., Tsyba A.A. *Anthropogenic Contamination of Underground Water Sources: Problems and Solutions. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology.* 2026; 1:62-70. DOI: 10.22227/2311-1518.2026.1.62-70 (rus.).

Для жизнедеятельности как человека, так и животных, растений и насекомых необходима вода. Она является основой поддержания здоровья, роста и развития всех живых организмов, поэтому ухудшение ее качества — это не только экологическая проблема, но и угроза для здоровья населения и биоразнообразия.

Для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения используют как поверхностные, так и подземные источники. В России доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водопользовании составляет около 47 %. Более 60 % городов и поселков обеспечиваются питьевой водой за счет использования подземных источников, а в сельской местности этот показатель достигает 80–85 % [1, 2]. Подземные воды зачастую являются единственным надежным источником питьевой воды для населения, поскольку они хорошо защищены от поверхностного загрязнения слабопроницаемыми глинистыми слоями. В естественных условиях гидрохимический состав подземных вод определяется природными закономерностями их формирования и с течением времени в регионе практически не меняется [3].

Тем не менее воздействие антропогенных факторов привело к загрязнению подземных вод. Особенно уязвимы грунтовые и напорные воды верхних горизонтов водоносных пластов, которые находятся в тесной гидравлической связи с поверхностными водами. Загрязнение происходит при фильтрации вредных веществ с поверхности. Источниками загрязнения могут служить предприятия жилищно-коммунального хозяйства, промышленность, агропромышленный комплекс и другие. Особенно опасны объекты, связанные с добычей и переработкой нефти, где аварийные разливы и утечки нефти и нефтепродуктов в процессе добычи, транспортировки, переработки и хранения приводят к загрязнению подземных вод.

Одним из значительных источников загрязнения является диффузный сток с сельскохозяйственных угодий, ферм, складов отходов и удобрений, промышленных площадок, транспортной инфраструктуры и застроенных территорий. Неорганизованный сток с сельскохозяйственных угодий способствует загрязнению водоносных горизонтов соединениями азота и пестицидами. Стоки с сельскохозяйственных угодий, пастбищ и животноводческих ферм существенно влияют на содержание в водных объектах биогенных веществ, органических соединений и пестицидов.

По данным исследований, в России зафиксировано около 6 тысяч участков техногенного загрязнения подземных вод, преимущественно в При-

волжском, Сибирском и Центральном федеральных округах [4]. Большинство участков с опасностью классом «чрезвычайно опасный» выявлены в районах расположения крупных промышленных предприятий и транспортных узлов.

В результате подземные воды содержат разнообразные органические и неорганические загрязнители. Среди них — тяжелые металлы (ртуть, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк, хром), ароматические и токсичные вещества, а также другие вредные соединения. Биологическое загрязнение, вызываемое микроорганизмами при попадании в воду хозяйственно-бытовых стоков, отходов выгребных ям и скотомогильников, представляет серьезную угрозу для здоровья населения [3, 5, 6]. Не меньшую опасность для качества подземных вод представляет тепловое загрязнение, связанное со сбросом горячих технологических сточных вод.

Параллельно, за счет увеличения водонепроницаемых площадей, таких как дороги, тротуары и здания, происходит значительное снижение естественного проникновения воды в грунт. Это приводит к снижению уровня естественной фильтрации и восполнения подземных источников, что усугубляет проблему дефицита воды и ухудшает ее качество.

Антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения может иметь следующие негативные последствия:

- загрязнения приводят к дефициту пресной воды. Спрос на воду может превысить предложение, согласно прогнозам ученых, к 2030 г. нехватка пресной воды может достичь 40 % от мирового потребления [7]. Это означает, что потребность в воде будет значительно превышать ее доступность, что создаст критическую ситуацию для населения и экономики;
- попадание органики, удобрений, химических веществ, моющих средств и других загрязнителей в подземные воды вызывает ухудшение их качества и приводит к выходу из строя водозаборных сооружений;
- ухудшение качества питьевой воды негативно сказывается на здоровье человека и животных, вызывая различные заболевания и ухудшая общее состояние населения;
- загрязненная вода представляет риск для здоровья: она связана с респираторными заболеваниями, раком, диареей, неврологическими и сердечно-сосудистыми расстройствами. Особенно опасны азотсодержащие химикаты, являющиеся причиной онкологических заболеваний.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что большинство населенных пунктов вынуж-

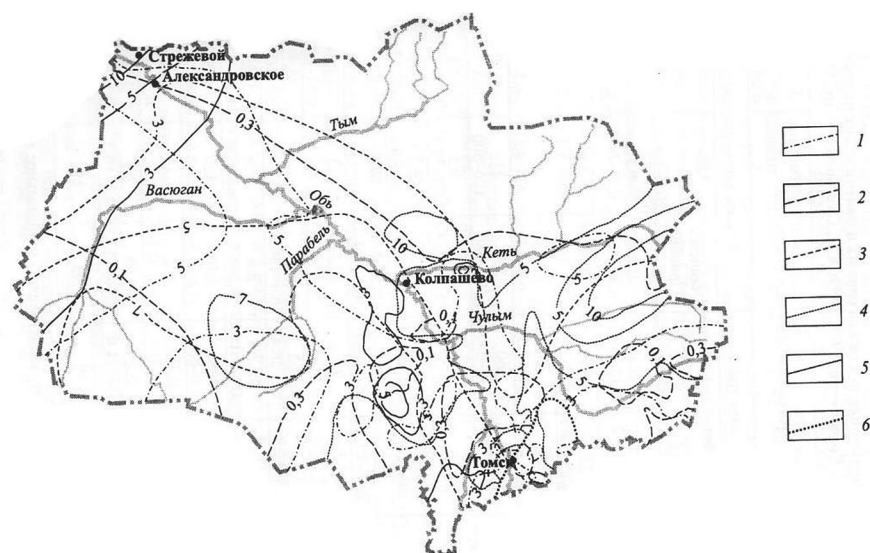


Рис. 1. Распределение компонентов химического состава подземных вод палеогеновых и палеозойских отложений: 1–5 изолинии содержания в подземных водах, мг/л: 1 — железа общего; 2 — марганца; 3 — солей жесткости; 4 — окисляемости; 5 — аммония; 6 — граница выступа палеозойского фундамента

ждено использовать для своих потребностей неочищенную воду, которая не соответствует требованиям СанПиН 2.1.3685–21 и СанПиН 2.1.3684–21. В связи с этим особенно актуальными являются задачи изучения условий формирования и сохранения качества питьевых подземных вод. Одним из способов предотвращения загрязнения воды является создание зоны санитарной охраны вокруг водозаборных сооружений. Также важным аспектом является соблюдение правил обслуживания водоподъемного оборудования, что помогает избежать загрязнения скважины во время ее ремонта или замены. Для безопасного использования подземных вод в питьевых целях обязательно необходимо проводить водоподготовительные мероприятия. Обеспечение чистой питьевой водой — важное условие устойчивого развития городов и регионов, которое отвечает потребностям людей, способствует повышению качества их жизни и здоровья [8].

Подземные воды Томской области, являющиеся основным источником централизованного водоснабжения, не соответствуют гигиеническим нормативам, поскольку в них наблюдаются повышенные концентрации железа (3,3–8,7 мг/л при допустимой норме 0,3 мг/л) и марганца (0,11,3–0,44 мг/л при допустимой норме 0,1 мг/л). Также в некоторых случаях отмечается повышенное содержание аммиака, кремния, а по обобщенным и органолептическим показателям — повышенная жесткость, перманганатная окисляемость, цветность и мутность [9]. Эти особенности связаны с природными условиями региона и являются характерной чертой местных вод (рис. 1). Такие показатели требуют особого внимания при использовании подземных вод, поскольку повышенные уровни железа и марганца могут негативно сказываться на качестве воды и здоровье населения. По составу водорастворенные газы, в основном, азотные. Насыщенность водо-

Таблица 1. Сравнительный состав водорастворенных газов подземных вод

Объем газа/ глубина зале- гания	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄	O ₂	N ₂	CO ₂	CH ₄
	об. %/л				мл/л			
Обь-Томское междуречье и правобережье р. Томи								
Водоносный горизонт четвертичных отложений								
30–45	3–13	63–82	7–22	1–12	1,3–3,9	21–33	2–10	0,4–5,4
Водоносный комплекс палеогеновых отложений								
30–70	2–12	60–78	3–13	3–44	0,6–4,9	21–40	1–9,5	4–16
Водоносный комплекс меловых отложений								
30–78	1–5	40–92	1–13	7–41	0,3–3,5	15–30	0,3–5,2	2–24,6
Северский водозабор (палеогеновый комплекс)								
16–38	3–17	69–90	2–9	0,2–21	0,5–6,4	13–29	0,5–1,6	0,03–4

носных отложений палеогена органическими веществами, имеющими как природное, так и антропогенное происхождение, способствует образованию метана в подземных водах в повышенных количествах на отдельных участках. В таких районах воды приобретают метаново-азотный состав (табл. 1), что было установлено на отдельных участках в долине реки Томи на ее левом берегу.

В условиях застойного режима в водоводах и скважинах, например, при остановках работы, перекрытии задвижек и других технологических операциях, процессы метанообразования значительно усиливаются. Микробная деятельность в таких условиях может оказывать негативное влияние на состояние инженерных сооружений водозабора: способствовать дополнительному накоплению метана и создавать активную коррозионную среду [10].

В настоящее время в Томской области отмечается тенденция к уменьшению доли питьевой воды, несоответствующей гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Согласно анализу санитарно-эпидемиологического состояния объектов централизованного водоснабжения [9], в 2023 г. из общего числа эксплуатируемых водопроводов в области 74,3 % не соответствовали санитарным требованиям из-за отсутствия необходимого комплекса сооружений водоподготовки.

Одновременно наблюдается проблема микробиологического загрязнения подземных вод, обусловленная интенсивной техногенной нагрузкой. В Томской области [11] большинство объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения расположены вблизи промышленных и хозяйственных предприятий, которые являются потенциальными источниками загрязнения подземных вод. Среди них — химические производства, теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), заводы по разделению изотопов, предприятия сублимационной и ремонтно-механической направленности, тепличные хозяйства промышленного масштаба, золоотвалы и другие объекты. Вблизи таких промышленных и хозяйственных объектов в подземных водах могут присутствовать бактериальные загрязнения, включающие разнообразные физиологические группы микроорганизмов, что ведет к деструкции минеральных и органических веществ и участвует в биогеохимических циклах углерода, азота, серы.

Микробиологические загрязнения могут проникать в подземные воды в результате загрязнения поверхностными сточными водами с территории промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий и зон складирования отходов. Кроме того, утечки из хвостохранилищ, отстойников и золоотвалов вносят не только токсичные вещества, но и питательные субстраты для микроорганизмов.

Наибольшую опасность для водозаборных сооружений представляют уробактерии, аммонифицирующие микроорганизмы, нитрифицирующие бактерии, денитрифицирующие бактерии, сульфатредуцирующие бактерии, нефтеокисляющие бактерии, а также железоокисляющие и железовосстанавливающие бактерии.

Размножение уробактерий в водопроводных системах, использующих воду из подземных источников, может происходить из-за проникновения поверхностных вод, содержащих карбамид, мочевины и органические остатки из сточных вод тепличных хозяйств, сельскохозяйственных угодий и других источников загрязнения. Эти бактерии, а также аммонифицирующие микроорганизмы, разлагая растворенную органику, образуют в воде источники аммиака. Аммиак является питательной средой для нитрифицирующих бактерий, что способствует их активному развитию и увеличению микробиологического загрязнения системы. В результате такие процессы приводят к ухудшению качества питьевой воды: превышению нормативных показателей по аммиаку, нитритам и нитратам, появлению неприятного запаха и привкуса, повышению цветности и мутности. Также происходит засорение фильтрующих элементов из-за накопления бактериальной биомассы, снижение пропускной способности трубопроводов из-за образования биопленок и усиливаются процессы коррозии.

Нитрифицирующие микроорганизмы в подземных водах появляются при поступлении азотсодержащих соединений (аммиак, аммоний из сточных вод, сельскохозяйственных стоков или разложения органики) и в аэробных условиях (при наличии кислорода). В аэробной среде эти бактерии инициируют процесс нитрификации: сначала превращают аммиак в нитриты, а затем окисляют нитриты до нитратов. Однако в условиях дефицита кислорода эти бактерии, а также другие микроорганизмы, такие как денитрифицирующие, начинают усиленно размножаться, что способствует развитию анаэробных процессов и может привести к электрохимической коррозии металлов в инфраструктуре водозабора.

Полное отсутствие кислорода (глубокие водонесные горизонты, в застойных зонах трубопроводов, а также в йодсодержащих средах), наличие сульфатов и органических кислот приводит к развитию сульфатредуцирующих бактерий. Они используют простые органические кислоты, образующиеся в результате разложения органики аэробными микроорганизмами, для окисления сульфатов, что приводит к образованию сероводорода. Это ухудшает качество воды, вызывает запах тухлых яиц, образует черные отложения на стенках труб и способствует точечной и щелевой коррозии, разру-

шению сварных швов, ускоряет износ труб, насосов и другого оборудования. Кроме того, сероводород ускоряет коррозию бетона и может способствовать образованию токсичных соединений, таких как метилртуть.

Нефтеокисляющие бактерии попадают в подземные воды через различные источники загрязнения, такие как утечки нефти и нефтепродуктов из аварийных или неправильно эксплуатируемых нефтепроводов, резервуаров и хранилищ. Кроме того, они могут проникать через сбросы промышленных предприятий, содержащие отходы, богатые нефтепродуктами, а также поверхностные сточные воды, загрязненные нефтепродуктами, которые фильтруются и просачиваются в грунт. Эти микроорганизмы разлагают нефть и ее производные, потребляя кислород и выделяя органические кислоты и углекислый газ. Они также способствуют образованию биопленок на поверхностях грунтов, что снижает проницаемость водоносных пластов. В результате ухудшается качество воды (появляются неприятные запахи и привкусы), усиливаются коррозионные процессы, снижается пропускная способность и эффективность водоочистки из-за повышенного содержания органических веществ и взвешенных частиц [12–14].

Материалы и методы

Исследования воздействия антропогенных факторов на качество подземных вод в водозаборных сооружениях Томской области проводились в период максимальной интенсивности техногенного загрязнения, когда в зоне санитарной охраны водозаборов располагалось множество промышленных объектов. Основным методом работы стали комплексные полевые и лабораторные исследования, включающие мониторинг состояния эксплуатационных скважин и наблюдательной сети в районах влияния Томского и Северского водозаборов.

На начальном этапе была составлена подробная карта текущего состояния водозаборных сооружений, на которой отображено расположение и характеристики всех эксплуатационных скважин, а также элементов системы мониторинга. В ходе многолетних режимных наблюдений были выявлены значительные изменения в естественной структуре фильтрационных потоков подземных вод, связанных с формированием депрессионных поверхностей.

Особое внимание было уделено изучению микробиологического состава подземных вод. В ходе работ был проведен количественный анализ различных физиологических групп микроорганизмов, что позволило выполнить комплексную экологическую оценку состояния подземного водоносного горизонта. Оценка экологического состояния проводилась согласно нормативам микробиологической лаборатории с учетом взаимосвязи микробиологического и химического состава воды.

Результаты

Результаты микробиологического анализа подземных вод представлены в табл. 2. Полученные данные свидетельствуют о наличии микроорганизмов, осуществляющих в аэробных и анаэробных условиях деструкцию минеральных и органических веществ и участвующих в биогеохимических циклах углерода, азота, серы. Очевидно, что причиной такой ситуации является наличие в охранной зоне водозабора разнообразных промышленных и хозяйственных объектов.

Микрофлора, присутствующая в подземных водах, негативно влияет на все компоненты водозаборных сооружений, повышая коррозионную активность воды. Повреждения, вызванные микроорганизмами, проявляются на металлических поверхностях в виде глубоких коррозионных отверстий и лагун (рис. 2).

Таблица 2. Результаты микробиологического анализа воды

Бактерии, кл/мл	Фоновое	Гидротехнические сооружения					Разрушают
		До фильтра	После фильтра	Скважина № 6	Скважина № 8	Скважина № 14	
Гетеротрофы	< 1500	145	10	590	330	580	Белоксодержащую органику до CO ₂ и NH ₃
Нефтеокисляющие	< 1300	0	0	0	75	0	Нефть до CO ₂
Уробактерии	< 350	0	0	0	1300	1700	Мочевину до NH ₃
Аммонифицирующие	< 500	0	0	0	5000	4000	Органику до NH ₃
Нитрифицирующие	–	1	1	1	1	1	Окисляют аммиак до NO ₂ и NO ₃
Денитрифицирующие	< 5 00	1	1	10	1 000 000	100 000	Нитраты до NO ₂ , N ₂ и NO ₃
Сульфатредуцирующие	< 300	0	0	10	1	100	Органику до уксусной кислоты, а сульфаты до H ₂ S



Рис. 2. Коррозионные повреждения водоподъемных и фильтровых труб

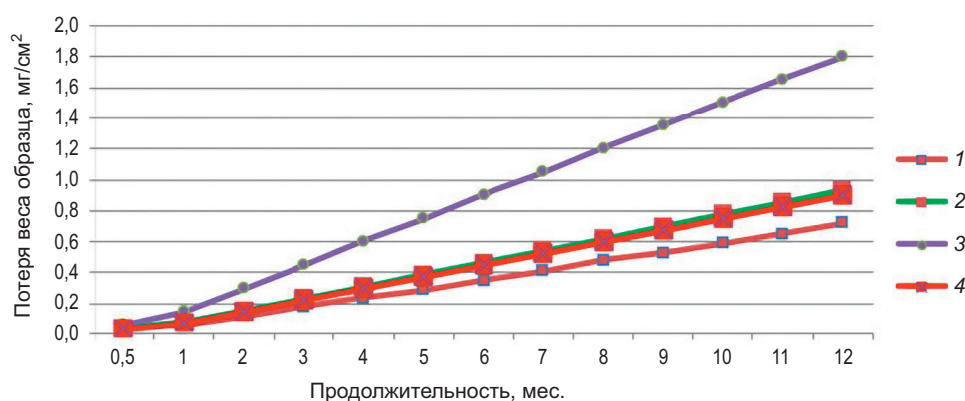


Рис. 3. Коррозионная активность микрофлоры: 1 — воздействие воды; 2 — воздействие гетеротрофных бактерий; 3 — воздействие сульфатредуцирующих бактерий; 4 — воздействие денитрифицирующих бактерий

Таким образом, микроорганизмы, попадающие в подземные воды вследствие техногенных загрязнений, оказывают негативное воздействие на все компоненты водопроводной системы, усиливая коррозионную активность воды. В сочетании с гетеротрофными, аммонифицирующими, нитрифицирующими, денитрифицирующими и сульфатредуцирующими бактериями формируется агрессивная коррозионная среда (рис. 3) [12–16], что повышает риск повреждений и сокращает срок службы инфраструктуры.

Пусковым механизмом коррозии является загрязнение водоносного горизонта поверхностными водами, содержащими белковую и нефтяную органику. Коррозионные процессы могут особенно активно проявляться в определенные периоды, связанные с дождями и паводками, когда в водоносный горизонт поступают

не только органические вещества, но и поверхностная почвенная микрофлора.

В результате жизнедеятельности бактерий выделяется гидрат окиси железа, что способствует переводу закиси железа в нерастворимую окись, осаждающуюся на внутренних поверхностях водопроводных систем (рис. 4).

На основании рассмотренных примеров можно сделать вывод, что антропогенные загрязнения негативно влияют на качество исходной воды, что, в свою очередь, ведет к ухудшению состояния оборудования и трубопроводов системы водоснабжения. Это подчеркивает важность контроля и снижения источников загрязнения для обеспечения эффективной работы системы и сохранения ее долговечности.



Рис. 4. Осадки на внутренних поверхностях водопроводных труб

Заключение

Анализ современных исследований и наблюдений свидетельствует, что антропогенное загрязнение подземных источников водоснабжения представляет значительную угрозу для качества питьевой воды, здоровья населения и стабильности работы систем водоснабжения. Основными источниками загрязнений являются промышленные предприятия, сельскохозяйственные угодья, транспортные и коммунальные объекты, которые вносят в воду разнообразные вредные вещества. В результате воздействия этих факторов ухудшается качество воды и увеличивается износ водопроводного оборудования. Для предотвращения загрязнения подземных вод необходимо совершенствовать меры охраны водных ресурсов и создавать зоны санитарной охраны вокруг

водозаборных сооружений. Важными направлениями являются развитие мусороперерабатывающих комплексов, внедрение современных технологий утилизации и переработки отходов, совершенствование законодательства в сфере водоохраны и усиление ответственности за действия, наносящие вред водным объектам. Не менее важны проведение просветительской работы, регулярный мониторинг водных ресурсов, создание экологически безопасных технологий водопользования, строительство новых очистных сооружений, регулирование использования удобрений и внедрение инновационных методов. Также необходимо расширять практики повторного использования воды в промышленности, что способствует снижению уровня загрязнений и повышению экологической безопасности водных ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Димакова Н.А., Шарапов Р.В. Проблема загрязнения подземных вод // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 2. С. 79–82.
2. Демин А.П. Региональные различия в обеспечении населения России централизованным водоснабжением и безопасной питьевой водой // Региональные исследования. 2019. № 2 (64). С. 80–91.
3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году : Проект Государственного доклада. М. : Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. 721 с. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 05.10.2025).
4. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. М. : Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения: 05.10.2025).
5. Святенко А.И., Бучек И.Ю. Анализ загрязненности шахтных вод в карьерах открытой добычи железной руды // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 44–48.
6. Шарапов Р.В. Принципы мониторинга подземных вод // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 3. С. 27–30.
7. UN World Water Development Report 2021: Valuing water supply, sanitation services. URL: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/valuing-water-supply-sanitation-services> (дата обращения: 05.10.2025).
8. Николаенко И.В., Сколубович Ю.Л., Мельникова Н.С. Методика количественной оценки устойчивости систем водоснабжения // Известия вузов. Строительство. 2025. № 3. С. 41–51.
9. Об экологической ситуации в Томской области в 2023 году : доклад. URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=136495> (дата обращения: 05.10.2025).
10. Ламинский 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.

11. Кармалов А.И. Повышение эффективности эксплуатации водозаборных скважин на основе методов химической регенерации и применения полимерных фильтров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2025.
12. 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.
13. 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.
14. Кармалов А.И., Герб Л.В., Товкач В.В. Долгосрочная эксплуатация артезианских скважин: проблемы и решения // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2023. № 4. С. 8–15.
15. 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.
16. 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.

Об авторах: **Юрий Леонидович Сколубович** — доктор технических наук, профессор, ректор; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 620008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Александр Иванович Кармалов — канд. техн. наук, директор; **ООО «Томскгидропроект»**; 634021, г. Томск, ул. Елизаровых, д. 79/2; e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru;

Анна Александровна Цыба — старший преподаватель, кафедра «Водоснабжения и водоотведения»; **Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)**; 620008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113; e-mail: a.tsyba@sibstrin.ru.

REFERENCES

1. Dimakova N.A., Sharapov R.V. The problem of groundwater pollution. *Modern high-tech technologies*. 2013; 2:79-82. (rus.).
2. Demin A.P. Regional differences in the provision of centralized water supply and safe drinking water to the Russian population. *Regional studies*. 2019; 2(64):80-91. (rus.).
3. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2024 : Draft State Report. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Federal State Budgetary Institution “VNII Ekologiya”, 2025; 721. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
4. The Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. Moscow, Ministry of Natural Resources of Russia; Federal State Budgetary Institution VNII Ekologiya, 2025. URL: <https://www.mnr.gov.ru> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
5. Svyatenko A.I., Buchek I.Yu. Analysis of mine water pollution in open-pit mining of iron ore. *Mechanical engineering and life safety*. 2010; 7:44-48. (rus.).
6. Sharapov R.V. Principles of groundwater monitoring. *Mechanical engineering and life safety*. 2012; 3:27-30. (rus.).
7. UN World Water Development Report 2021: Valuing water supply, sanitation services. URL: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/valuing-water-supply-sanitation-services> (date of access: 05.10.2025).
8. Nikolaenko I.V., Skolubovich Yu.L., Mel'nikova N.S. Methodology for quantifying the sustainability of water supply systems. *Izvestiya vuzov. Construction*. 2025; 3:41-51. (rus.).
9. On the environmental situation in the Tomsk region in 2023 : Report. URL: <https://depnature.tomsk.gov.ru/news/front/view?id=136495> (date of access: 05.10.2025). (rus.).
10. Laminskij A.I., Klimova N.A., Pushkareva A.G. *Monitoring of groundwater in the sanitary protection zones of water intakes No. 1 and 2 in Seversk : a technical report*. Tomsk, 2010; 175. (rus.).
11. Karmalov A.I. *Improving the efficiency of water intake wells operation based on chemical regeneration methods and the use of polymer filters : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences*. Irkutsk, Irkutsk National Research Technical University, 2025. (rus.).
12. Karmalov A.I., Skolubovich Yu.L., Chupin R.V., Melexov E.S. Investigation of secondary mineral formation processes in drinking water wells. *Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty*. 2024; 14(4):735-745. (rus.).
13. Karmalov A.I., Filimonova S.V. Analysis of the causes of coloration and corrosion of water intake well equipment under conditions of increased anthropogenic load. *Water supply and sanitary engineering*. 2011; 9-1:16-20. (rus.).

14. Karmalov A.I., Gerb L.V., Tovkach V.V. Long-term operation of artesian wells: problems and solutions. *The best available water supply and sanitation technologies*. 2023; 4:8-15. (rus.).
15. Martynenko G.D., Naimanov A.Ya., Naimanova A.A., Karmalov A.I. Reconstruction of facilities for the reuse of flushing water filters of the de-icing station. *Water supply and sanitary equipment*. 2020; 10:14-20. (rus.).
16. Sivolov G.E., Karmalov A.I., Medrish G.L., Piskov M.V., Panchuk S.A., Zorin A.P. Operational experience and improvement of the water disinfection system using sodium hypochlorite. *Water supply and sanitary equipment*. 2011; 9-1:28-32. (rus.).

About the authors: **Yuriy L. Skolubovich** — Grand PhD in Engineering, Professor, Rector; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya St., Novosibirsk, 620008, Russian Federation; e-mail: rector@sibstrin.ru;

Alexander I. Karmalov — PhD in Engineering Associate Professor, Director; **LLC Tomskgidroproekt**; 79/2 Elizarovyh St., Tomsk, 634021, Russian Federation; karmalov@vodokanal.tomsk.ru;

Anna A. Tsyba — Senior lecturer, Department of “Water Supply and Sanitation”; **Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)**; 113 Leningradskaya St., Novosibirsk, 620008, Russian Federation; e-mail: a.tsyba@sibstrin.ru.