

ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА НИТРАТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А. М. Кухарик

Младший научный сотрудник, лаборатория биогеохимии и агроэкологии, Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: anyahomich@mail.ru

Реферат

В статье проанализированы опубликованные научные результаты по проблеме загрязнения нитратами подземных вод в различных регионах мира. Первые исследования по изучению процессов поступления и накопления нитратов в подземных водах начали проводиться на рубеже 60-х – 70-х гг. XX в. Установлено, что для многих стран и регионов (Западная Европа, Прибалтика, Юго-Восточная Азия, США, Россия, Беларусь, Украина и др.) характерны повышенные концентрации нитратов в подземных водах (более 45 мг/дм³, что превышает допустимый уровень, установленный для питьевых вод), а для большинства водозаборов не разработаны проекты по организации зон санитарной защиты, которые исключали бы возможность ухудшения качества подземных вод. Дана оценка уровней нитратного загрязнения вод источников централизованного и нецентрализованного водоснабжения (скважины, колодцы, родники) в Беларуси, а также рассмотрены существующие меры улучшения их качества. Показано, что основными факторами формирования антропогенного загрязнения подземных вод нитрат-ионами являются увеличение селитебной освоенности территории, эксплуатация коммунально-бытовой инфраструктуры, развитие промышленного производства, интенсивное использование минеральных и органических удобрений на сельскохозяйственных землях. По полученным материалам предложены рекомендации по минимизации негативного воздействия нитрат-ионов на окружающую среду и человека, включающие использование ионообменных фильтров для очистки загрязненных вод и перевод водоснабжения на использование артезианских скважин, эксплуатирующих более глубокослагающие водоносные горизонты.

Нитратное загрязнение подземной гидросферы является актуальной геоэкологической проблемой XXI в., для решения которой необходима постановка комплексных исследований по изучению закономерностей его формирования.

Ключевые слова: нитраты, подземные воды, мониторинг, геоэкологическая оценка, предельно допустимая концентрация (ПДК), источники централизованного и нецентрализованного водоснабжения, грунтовые воды.

INVESTIGATION OF THE ISSUE OF GROUNDWATER NITRATE POLLUTION

A. M. Kukharik

Abstract

The article analyzes published scientific results on the problem of groundwater nitrate pollution in different regions of the world. The first studies on the processes of uptake and accumulation of nitrates in groundwater began to be carried out around

60-th – 70-th years of the XX century. Found that for many countries and regions (Western Europe, Baltic States, Southeast Asia, USA, Russia, Belarus, Ukraine etc.) elevated concentrations of nitrates in groundwater (more than 45 mg/dm³, which exceeds the acceptable level established for drinking water), and there are no plans for the establishment of sanitary protection zones that would prevent the deterioration of groundwater quality in most reservoirs. An assessment of the levels of nitrate pollution of water sources of centralized and decentralized water supply (wells, springs) in Belarus has been made, as well as existing ways to improve their quality. It was shown that the main factors of anthropogenic groundwater pollution by nitrate-ions are the increase in the population density, the use of public infrastructure, the development of industrial production, intensive use of mineral and organic fertilizers on agricultural land. Based on the results, recommendations are proposed to minimize the negative impact of nitrate-ions on the environment and humans, including the use of ion-exchange filters for cleaning contaminated water and the conversion of water supply to the use of artesian wells, exploiting deeper aquifers.

Nitrate pollution of underground hydrosphere is a current geo-ecological problem of the XXI century, for the solution of which it is necessary to conduct comprehensive studies on the study of its formation patterns.

Keywords: nitrates, groundwater, monitoring, geo-ecological assessment, maximum permissible concentration (MPC), sources of centralized and decentralized water supply, groundwater.

Введение

Хозяйственная деятельность человека, оказывающая существенное влияние на все компоненты геологической среды, включая подземную гидросферу, является одним из главных факторов загрязнения подземных вод. Во многих странах они используются в качестве основного источника питьевого водоснабжения, вследствие чего проблеме их качества уделяется особое внимание. В настоящее время одной из актуальных и широко обсуждаемых в научной литературе геоэкологических проблем, связанных с подземными водами, является их нитратное загрязнение. Оно формируется под влиянием антропогенных факторов, наносит ущерб природным экосистемам и создает риски для здоровья человека.

Грунтовые воды, т. е. воды первого от поверхности безнапорного водоносного горизонта, чаще всего подвергаются загрязнению нитрат-ионами вследствие их слабой естественной защищенности от поступления контаминантов. В городах высокая степень загрязнения подземных вод характерна для агроселитебных ландшафтов, которые представляют собой территории, занятые приусадебными участками. Сельские населенные пункты испытывают сложности

с обеспечением качественными водами из источников нецентрализованного водоснабжения (колодцы, неглубокие скважины, родники). Формирование загрязнения подземных вод нитрат-ионами обусловлено поступлением коммунально-бытовых стоков, использованием минеральных и органических удобрений на сельскохозяйственных землях, развитием промышленного производства, эксплуатацией очистных сооружений.

Все вышесказанное подтверждает актуальность проведения специальных гидрогеологических и гидрогеохимических исследований на территории Беларуси, направленных на определение особенностей формирования и динамики нитратного загрязнения подземных вод, однако их осуществление невозможно без обобщения отечественного и мирового научного опыта, начиная с середины XX в., чему и посвящена настоящая статья.

Результаты и их обсуждение

Первые результаты исследований, фиксирующие быстрое возрастание содержания азота в подземных водах, стали появляться на рубеже 60-х – 70-х гг. XX в., и к сегодняшнему дню

по рассматриваемой проблеме опубликована обширная литература, и накоплен большой объем фактических данных по различным регионам мира и отдельным странам. Изучением нитратного загрязнения подземных вод занимались специалисты из России, Украины, Польши, Литвы, Латвии, Беларуси, Германии, Австрии, Турции, Италии, США, Индии, Туниса, Китая и других стран. Это позволило разработать подходы к количественной оценке концентрации нитрат-иона в водах, которые имеют некоторые различия. Так, для большинства стран Европейского Союза предельно допустимая концентрация нитратов в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 50 мг/дм³ (рекомендована Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ)), в России и Беларуси этот показатель равен 45 мг/дм³.

Значительный вклад в изучение особенностей формирования нитратного загрязнения подземных вод в период 1960–2000 гг. внесли Н. И. Петухов, В. М. Гольдберг, Ж. Фрид, С. Р. Крайнов, В. П. Закутин, М. А. Хвесик, П. Д. Клоченко, А. И. Сакевич, Ф. М. Бочевер, И. А. Брилинг, Ф. И. Тютюнова, О. Strebel, G. R. Hallberg, J. F. Power, V. Benes, A. E. Williams, A. Klimas, A. B. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. П. Оношко, Г. Н. Новиков, В. Н. Яромский, Н. С. Житенева, С. Л. Шварцев, Е. В. Пиннекер, В. Г. Жогло и др.

В 1969 г. Н. И. Петуховым [1] опубликованы результаты изучения миграции нитратов в почве и грунтовых водах Республики Татарстан. Показано, что из 509 проб воды в 265 колодцах содержание нитратов составило более 41 мг/дм³. Также присутствие нитрат-иона зафиксировано в водах родников. Из 31 исследованного объекта 30 загрязнены нитратами, при этом в шести из них содержание нитрат-иона превышало значение ПДК.

Первые признаки нитратного загрязнения в напорных подземных водах на территории Беларуси установлены в 1970-е гг. на групповом водозаборе «Новинки» (г. Минск). Концентрация нитрат-иона здесь составила 20–27 мг/дм³, а в начале 1990-х гг. зафиксировано первое превышение уровня ПДК (45 мг/дм³) в одной из скважин данного водозабора. В начале 2000-х гг. содержание нитратов достигло 50–67 мг/дм³ уже в 6–7 скважинах [2].

О. Strebel с соавторами [3] проанализированы основные аспекты загрязнения нитратами подземных вод в результате сельскохозяйственной деятельности в Западной Европе. Сделан вывод, что сток нитратов с сельскохозяйственных земель следует рассматривать как важный неточечный источник загрязнения. Отмечено, что в Дании, Западной Германии, Нидерландах и Великобритании использование подземных вод составляет 99 %, 73 %, 70 % и 30 %, соответственно, от общего объема потребляемой воды, поэтому очень важно защищать подземные воды от поступления загрязняющих веществ, которые ухудшают их качество.

В этот же период G. R. Hallberg [4], J. F. Power, J. S. Schepers [5] изучали проблему загрязнения нитратами подземных вод в Северной Америке. Загрязнение грунтовых вод нитратами обнаружено в каждом штате США. В основном это районы широко распространенного производства зерна, которые характеризуются интенсивным пропашным земледелием и обильным внесением минеральных и органических удобрений. Кроме этого, нитратное загрязнение подземных вод характерно для районов оросительного земледелия, выращивания овощных и специализированных культур на песчаных почвах. В ходе выполненных исследований предложены возможные пути решения проблем качества грунтовых вод, возникающих в результате сельскохозяйственной деятельности.

V. Benes с соавторами [6] проанализировано влияние диффузных источников загрязнения нитратами на качество грунтовых вод на территории Чехословакии. Показано, что долгосрочные изменения и тенденция к увеличению концентрации нитратов в грунтовых водах отражают антропогенное, особенно сельскохозяйственное, влияние. В нескольких районах страны с интенсивным аграрным производством была установлена корреляция между количеством внесенных азотных удобрений и содержанием нитратов в грунтовых водах. Был проведен мониторинг качества подземных вод и выявлены распространенные источники загрязнения, а также рассмотрены вопросы о возможном влиянии загрязнения нитратами грунтовых вод на здоровье человека.

В 1990–1993 гг. исследователями из Украины (М. А. Хвесик, П. Д. Клоченко, А. И. Сакевич) и Литвы (A. Klimas, V. Paukstys) публикуются результаты изучения особенностей накопления нитратов в источниках питьевого водоснабжения. В публикациях рассматривались вопросы загрязнения нитратами подземных вод в связи с поступлением промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. В питьевых водах Киевской области содержание нитратов составило 10,8–168,0 мг/дм³, а в Черкасской – 0,78–113,3 мг/дм³. Было установлено, что увеличение нагрузки нитратов на человека прямо пропорционально величине нитратного загрязнения источников водоснабжения [7, 8]. На территории Литвы загрязнение подземных вод нитрат-ионами наблюдалось вблизи заводов по производству удобрений и в границах интенсивно удобряемых сельскохозяйственных земель. Безнапорные грунтовые воды оказались наиболее загрязнены нитратами в центральной части Литвы [9].

В 1992 г. в Беларуси была создана Национальная система мониторинга окружающей среды (НСМОС) с целью обеспечения взаимодействия систем наблюдения за состоянием окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. На начало 1993 г. в составе данной системы велись лишь несколько видов мониторинга: мониторинг окружающей среды, медицинский мониторинг и др., а к 2023 г. общее количество видов мониторинга достигло 13. На момент создания НСМОС в части мониторинга подземных вод наблюдательная сеть включала 487 скважин, а в 2022 г. – 355 скважин [10]. Следует, однако, отметить, что наблюдения по этим скважинам осуществляются в основном за уровнем и температурным режимом подземных вод, а гидрогеохимические наблюдения с частотой один раз в год – лишь в небольшой части этих скважин (10–15 %). Это не позволяет объективно оценивать современное геозекологическое состояние подземных вод, включая уровни их нитратного загрязнения.

В период с 1993 по 2000 гг. продолжались исследования по изучению гидрогеохимического состояния и качества пресных подземных вод источников централизованного и децентрализованного водоснабжения на территории Беларуси. Весомый вклад в рассмотрение данных вопросов внесли А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. П. Оношко, Г. Н. Новиков, В. Н. Яромский, Н. С. Житенева, В. Г. Жогло и др.

А. В. Кудельским и В. И. Пашкевичем [11] отмечено нитратное загрязнение подземных вод на водозаборах «Водопой» и «Острова» (г. Минск), одиночных скважин (г. Речица) и водозабора «Лядище» (г. Борисов). Концентрация нитратов в водах достигала 59,2–87,0 мг/дм³. Установлено, что загрязнению подвержены напорные воды межморенных водоносных комплексов. Источниками поступления нитрат-ионов в грунтовые воды, эксплуатируемые колодцами, являются приусадебные участки, животноводческие комплексы и птицефермы, склады минеральных удобрений. Было отмечено, что для большинства водозаборов не разработаны проекты по организации зон санитарной защиты, которые исключали бы возможность ухудшения качества подземных вод. В 1998 г. М. П. Оношко [12] и Г. Н. Новиков с соавторами [13] в своих работах показали особенности накопления азота в подземных водах Западного Поозерья. Была отмечена закономерность аккумуляции азота в подземных водах в связи с сельскохозяйственным использованием территории, а также определена взаимосвязь содержания нитратов с ее распаханностью. Показано, что интенсивная антропогенная нагрузка привела к изменению зонального состава подземных вод, сформировался новый их тип – нитратно-гидрокарбонатный кальциевый. Содержание нитратов в питьевой воде колодцев изученного региона превышало значение ПДК в 5,2–9,8 раза.

В этот же период А. Е. Williams с соавторами [14] проводили исследования по выявлению естественных и антропогенных источников загрязнения нитратами грунтовых вод в сельской местности штата Калифорния и установили, что в 20–40 % скважин в районе Сьерра-Пелона превышен уровень ПДК по нитрат-ионам.

В период с 2000 по 2015 гг. важным направлением в изучении проблемы нитратного загрязнения подземных вод являлся мониторинг и гидроэкологическая оценка их качества. Исследования в это время были проведены для отдельных регионов и городов России (Белгородская область, г. Челябинск, г. Владивосток, Липецкая

область, Ленинградская область, г. Тула, Ростовская область), Украины (Житомирская область, г. Харьков), Беларуси (Брестская, Могилевская, Гомельская, Гродненская области, г. Минск), Германии, Казахстана, Южной Кореи, Индии, Туниса, Австрии, Турции, Азии, Китая и др.

В 2004 г. R. Wolter [15] публикует результаты изучения загрязнения нитратами поверхностных и грунтовых вод в Германии. Было отмечено, что в Германии и во многих других европейских странах поступление азота в поверхностные и грунтовые воды привело к заметному ухудшению их качества. С целью отразить существующие особенности загрязнения подземных вод нитратами и оценить эффективность принятых мер по минимизации его негативных последствий в Германии была создана мониторинговая сеть: мониторинг проводился в 1995–2002 гг. Установлено, что снижение концентрации нитратов наблюдалось только в сильно загрязненных грунтовых водах, однако в целом концентрации нитратов в грунтовых водах Германии не удалось значительно снизить за последние семь лет. К. Osenbrück с соавторами [16] изучали проблему загрязнения нитратами подземных вод в восточной части Германии (Саксония). Во взаимосвязи с развитием сельскохозяйственного производства были рассмотрены особенности развития загрязнения грунтовых вод нитратами в скважинах питьевого водоснабжения.

В это же время выполнялись исследования подземных вод на территории Украины. Т. П. Качановской [17] проведено изучение качества подземных вод г. Харькова. Установлено, что грунтовые воды в большинстве случаев загрязнены нитратами, а их максимальные концентрации достигают 250 мг/дм³.

Изучение проблемы нитратного загрязнения подземных вод осуществляется также с использованием геоинформационных систем (ГИС). Так в работе В. Nas и А. Berktaу [18] оценено пространственное распределение концентраций нитратов в грунтовых водах в г. Конья (Турция) с использованием ГИС. Установлено увеличение концентрации нитратов в подземных водах в период с 1998 по 2001 гг. Отмечено, что причинами нитратного загрязнения вод питьевого водоснабжения являются расположение скважин в центре города, интенсивная сельскохозяйственная деятельность на юге, а также растущая промышленная активность на северо-востоке.

Проблемой площадного нитратного загрязнения подземных вод Липецкой области занимались Э. Л. Прудовский, С. М. Бойко [19]. Результаты их исследований, проведенных в период 2000–2006 гг. (было проанализировано 4600 проб воды), позволили выявить характер распределения нитратов в подземных водах верхнедевонской и неоген-четвертичной водоносных систем. Для неоген-четвертичной водоносной системы характерны наиболее низкие фоновые концентрации нитрат-иона (от 0–10 мг/дм³ до 30 мг/дм³), а для верхнедевонской – 30–40 мг/дм³ с аномальными значениями от 40,0 до 259,7 мг/дм³. В ходе проведенной работы выделены источники загрязнения подземных вод региона. Среди них – городские территории с высоким промышленным потенциалом (полигоны твердых отходов, сточные воды) и районы с развитым сельским хозяйством (интенсивное применение минеральных и органических удобрений).

Значительный вклад в изучение проблемы нитратного загрязнения подземных вод на территории Беларуси в период 2000–2015 гг. внесли М. Г. Ясоевев, Д. Д. Таликадзе, А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, Е. В. Дроздова, О. В. Васнева, К. В. Кудрявцева, Т. Г. Флерко, О. В. Шершнев, С. Н. Байтова, М. О. Хартон, С. А. Хорева, Т. А. Неверова, М. Ю. Калинин, М. А. Писарик, В. М. Феденя, С. И. Кузьмин, В. Г. Жогло, А. Н. Галкин, В. В. Коцур, О. В. Кадацкая, В. С. Хомич и др.

С 2000 по 2007 гг. исследователями была выполнена геоэкологическая оценка подземных вод различных регионов Беларуси. В юго-западной части страны, а именно, на территории Барановичского района, было установлено превышение содержания нитратов в грунтовых водах (от 49 до 309 мг/дм³) [20]. В ходе проведенных исследований зафиксировано аномально высокое содержание нитрат-ионов в подземных водах г. Барановичи – до 852 мг/дм³, а также М. Ю. Калинин и М. А. Писарик [20] составлена карта-схема степени химического загрязнения подземных вод административного района. В этот же период опубликована работа М. О. Хартон и С. А. Хоревой [21], в которой дана оценка нитратного загрязнения вод колодцев Барановичского

района, выявлены источники его формирования и рассмотрено влияние на здоровье человека.

В. И. Пашкевичем охарактеризованы особенности формирования нитратного загрязнения грунтовых вод Беларуси. Установлено, что существует прямая связь между уровнями антропогенных нагрузок на почву по азоту на землях разного хозяйственного использования и уровнем нитратного загрязнения грунтовых вод в их пределах. Выявлено, что на участках с незначительными антропогенными нагрузками (заповедники, лесные массивы и др.) значения концентрации нитрат-иона в грунтовых водах колеблются от «не обнаружено» до 9,0 мг/дм³ (среднее – 1,2 мг/дм³). На площадях, где осуществляется активная хозяйственная деятельность, естественный гидрогеохимический фон грунтовых вод значительно трансформируется. Показано, что концентрации нитратов в водах колодцев достигают 400–600 мг/дм³ в границах сельских населенных пунктов [22].

Более детально проблема нитратного загрязнения подземных вод в Беларуси рассмотрена в публикации В. И. Пашкевича с соавторами [23]. В ней дана оценка уровня нитратного загрязнения подземных вод, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения. Установлено, что концентрация нитрат-иона в грунтовых водах, эксплуатируемых колодцами, определенная на основании изучения 1029 проб, составляет в среднем 150 мг/дм³ на участках, подверженных сельскохозяйственному и коммунально-бытовому загрязнению в пределах сельских населенных пунктов. Выявлено, что содержание нитратов в водах колодцев достигает 300–600 мг/дм³, а в отдельных случаях возрастает до 1400–2500 мг/дм³. Это наиболее высокие концентрации нитратов, фиксировавшиеся когда-либо в подземных водах на территории Беларуси. Показано, что наиболее подвержены нитратному загрязнению скважины, не имеющие зон санитарной защиты и расположенные вблизи источников загрязнения (животноводческие фермы, селитебные территории и др.).

А. В. Кудельский в своей работе [24] рассмотрел вопросы качества подземных вод в сельской местности и отметил, что многие развитые государства (Франция, Германия и др.) отказываются от колодезного водоснабжения и переходят на скважинное путем эксплуатации более глубоководящих и менее загрязненных горизонтов подземных вод. М. Г. Ясоевев с соавторами [25] в своем исследовании отметили неудовлетворительное качество подземных вод на территории Солигорского, Гомельского и Светлогорского промышленных районов. В связи с этим уделено внимание проблеме заболеваемости населения в результате загрязнения питьевой воды и предложены рекомендации по защите и улучшению качества подземных вод.

Повышенные концентрации нитратов в подземных водах зафиксированы не только в европейских странах, но и в азиатском регионе. Y. Umezawa и T. Hosono с соавторами [26] дали оценку состояния загрязнения грунтовых вод, а также описали механизмы, контролируемые источники и пути распределения контаминантов в городах Юго-Восточной Азии. Загрязнение нитратами вод первого безнапорного водоносного горизонта (грунтовые воды) характерно для г. Джакарта, максимальные значения содержания нитрат-ионов составили здесь 763 мг/дм³. Показано, что загрязнение водоносных горизонтов в Манильской агломерации и г. Бангкок не превышает уровень ПДК. Результаты выполненных исследований показали, что необходимо проводить постоянный мониторинг и управление качеством подземных вод в изученных районах.

Е. В. Колесникова и А. Ф. Симакин [27] проанализировали проявление нитратного загрязнения в грунтовых и подземных водах Тульской области и пришли к выводу, что за последние годы содержание нитратов в питьевой воде в большинстве скважин региона превысило гигиенические нормы от 2 до 5 раз. В результате проведенных работ выявлены источники загрязнения и предложены мероприятия по улучшению качества питьевого водоснабжения.

В 2008 г. проведены специальные гидрогеохимические исследования на территории Брестской, Могилевской, Гомельской, Гродненской областей Беларуси, а также в Минской городской агломерации. Они были направлены на изучение геоэкологических проблем питьевого водоснабжения сельских и городских поселений. В статье А. В. Кудельского, В. И. Пашкевича, М. К. Коваленко [28] приводится

краткая характеристика источников централизованного водоснабжения территории Беларуси. Отмечен высокий уровень нитратного загрязнения подземных вод, вскрываемых скважинами в местах расположения животноводческих комплексов. Установлена максимальная концентрация нитратов в одном из колодцев в д. Краснодворцы Солигорского района – 2492 мг/дм³.

Для территории г. Бреста и Брестского района В. М. Феденей, С. И. Кузьминим и М. А. Писарик [29] разработано районирование по степени нитратного загрязнения подземных вод. Выделены участки с низкой, средней, периодически высокой и высокой степенью загрязнения. Значительный вклад в изучение проблемы нитратного загрязнения подземных вод был внесен Е. В. Дроздовой и др. [30]. Авторами приведены данные анализа нитратного загрязнения воды из источников и систем хозяйственно-питьевого водоснабжения Республики Беларусь, выполненного в рамках задания 01.02 ОНТП «Здоровье и окружающая среда» (2010–2012 гг.). Установлено, что наиболее неблагоприятная ситуация по загрязнению подземных вод нитрат-ионами источников нецентрализованного водоснабжения характерна для южных областей Беларуси, а также некоторых районов Гродненской (Слонимский, Берестовицкий) и Минской областей (Солигорский, Стародорожский, Слуцкий, Пуховичский). Показано, что в ряде мест уровни содержания нитратов в водах первого от поверхности безнапорного водоносного горизонта (грунтовые воды) превышают значение ПДК, а в шахтных колодцах варьируют от 300–600 мг/дм³ до 1000–3000 мг/дм³.

В. Г. Жогло и А. Н. Галкин [31] изучали закономерности формирования и рационального использования ресурсов пресных подземных вод в условиях высокой техногенной нагрузки на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси. Было установлено, что значительное влияние на загрязнение подземных вод нитратами оказывают объекты коммунальных служб – свалки твердых бытовых отходов (ТБО), очистные сооружения и т. д. Концентрация нитратов в подземных водах в зонах влияния этих объектов достигала 300–600 мг/дм³ и более (до 1000–1400 мг/дм³). Показано, что интенсивное загрязнение подземных вод формируется в пределах животноводческих ферм и полей орошения животноводческими стоками; загрязнению подвержены не только грунтовые, но и более глубоко залегающие напорные подземные воды. Обнаружены повышенные содержания нитратов в эксплуатируемых напорных водоносных горизонтах (от 40 до 128 мг/дм³) в границах полей орошения животноводческими стоками совхоза-комбината «Сож» Гомельского района.

Л. Л. Новых, Ю. В. Юдиной и Г. А. Ореховой [32] дана оценка загрязнения нитратами вод родников, которые являются памятниками природы регионального значения Белгородской области (Россия). Выявлено, что в большинстве случаев в водах родников фиксировались низкие концентрации нитрат-ионов, не превышающие значения ПДК. Авторы отметили, что основным фактором формирования нитратного загрязнения родниковых вод в изученном регионе является расположение их вблизи животноводческих комплексов, мест складирования коммунально-бытовых отходов.

Ж. У. Sheong с соавторами проведены специальные исследования на территории Южной Кореи. Они были направлены на определение источников нитратного загрязнения и оценку факторов, контролирующей концентрацию нитрат-ионов в грунтовых водах. В публикации [33] рассмотрена проблема загрязнения грунтовых вод нитратами в сельскохозяйственном районе г. Кимпхо. Средняя концентрация нитратов в водах составила здесь 79,4 мг/дм³, что превышает уровень ПДК. Высокие концентрации нитратов в грунтовых водах отмечены на рисовых полях (8–174 мг/дм³), что связано с загрязнением подземных вод в результате сельскохозяйственной деятельности.

К. Wick, С. Neumesser и Е. Schmid [34] также обратили внимание на тот факт, что в Австрии интенсивная сельскохозяйственная деятельность приводит к формированию устойчивого загрязнения нитрат-ионами подземных вод. Установлено, что процент пахотных земель в стране положительно коррелирует с концентрацией нитратов в грунтовых водах. При проведении исследования в качестве индикатора был использован показатель валового баланса азота. Показано, что использование этого показателя помогает более обоснованно прогнозировать загрязнение нитратами подземных вод в регионах с большим количеством атмосферных осадков.

В 2010 г. I. A. Dar, A. D. Mithas и K. Sankar [35] изучили особенности нитратного загрязнения грунтовых вод вследствие чрезмерного использования удобрений на пахотных землях в окрестностях г. Сопор (Индия). Было установлено, что около 85 % проб воды, отобранных в летний период, и 67 % проб, взятых в зимнее время, характеризуются высокой концентрацией нитратов, которая превысила допустимый предел ВОЗ (50 мг/дм³).

М. Г. Ясовеевым с соавторами [36] были подробно рассмотрены особенности нитратного загрязнения подземных вод Беларуси, и в частности, г. Минска. В 1874 г. в г. Минске был введен эксплуатацию первый водопровод, который снабжал центральную часть города водой из скважин, расположенных в пойме р. Свислочь, а в 1932 г. был построен первый групповой водозабор «Новинки». В настоящее время здесь наблюдается неблагоприятная экологическая ситуация по отношению к содержанию нитратов в воде. В 2009 г. максимальные значения концентрации нитратов в подземных водах на этом водозаборе достигали 62,3–81,8 мг/дм³. Авторами разработаны рекомендации по улучшению качества подземных вод и предложены пути их решения, заключающиеся в коммунальном благоустройстве участков расположения локальных источников загрязнения групповых водозаборов.

Т. Г. Флерко и О. В. Шершневым [37] выявлена зависимость химического загрязнения вод колодцев от ландшафтных условий местности. Установлен рост удельного веса нестандартных проб на нитраты в зависимости от процентного соотношения пахотных земель на водосборной площади.

Н. W. Khandare [38] проанализированы основные источники загрязнения нитратами подземных вод в промышленных и сельскохозяйственных районах Индии. Показано, что отсутствие канализационных систем способствует загрязнению грунтовых вод нитратами в результате просачивания сточных вод из выгребных ям и прудов-отстойников. Также было отмечено, что колодцы, которые расположены в зоне, где собираются два урожая в год, имеют сравнительно более высокие концентрации нитратов, чем те, которые находятся рядом с полями, где собирается только один урожай. Установлена прямая зависимость уровней нитратного загрязнения грунтовых вод от интенсивности сельскохозяйственной деятельности.

Y. Named, S. Awad и А. В. Saad [39] изучили загрязнение нитратами подземных вод в районе оазисов Сиди-Айч-Гафса (Южный Тунис). Установлено, что в орошаемой грунтовыми водами области в бассейне оазисов Гафса, где забор воды из подземного водоносного горизонта увеличился в три раза за последние 25 лет, концентрация нитрат-иона колеблется от 16 до 320 мг/дм³. Были предложены меры по защите грунтовых вод от загрязнения, включающие обслуживание и модернизацию септических систем, сокращение общей нормы внесения азотных удобрений и т. д. Рекомендовано акцентировать внимание на том факте, что для отдельных областей Северной Африки характерна чрезмерная эксплуатация ресурсов подземных вод, вследствие чего происходит ухудшение их качества и истощение.

Изучение проблемы нитратного загрязнения подземных вод в различных регионах России занимались О. В. Клецкина, И. И. Минькевич, Е. А. Аверина, В. А. Шкаликов, И. В. Анкинович и др. О. В. Клецкиной и И. И. Минькевич установлено, что наиболее интенсивное загрязнение подземных вод происходит на участках размещения жидких и пастообразных отходов химического производства, в местах складирования бытовых отходов, промышленных площадок [40]. Е. А. Аверина с соавторами [41] представили результаты санитарно-гигиенической оценки содержания нитратов в источниках нецентрализованного водоснабжения г. Владивостока. Было выявлено, что в водах пяти из тринадцати исследованных колодцев содержание нитратов превышало норму (50–100 мг/дм³). В. А. Шкаликов и И. В. Анкинович [42] проанализировали химический состав вод родниковых источников на территории г. Смоленска и пришли к выводу, что их нитратное загрязнение происходит вследствие существования большого числа свалок мусора на водосборной территории. Вероятность поступления нитратов в воды повышается в периоды выпадения значительного количества атмосферных осадков.

В это же время А. В. Каримовой [43] изучено содержание нитрат-ионов в питьевых водах Восточно-Казахстанской области. Дана экологическая оценка питьевых вод исследуемого региона, а также

показано, что в сельскохозяйственных районах наблюдается превышение содержания нитратов в подземных водах в результате интенсивного применения азотных удобрений. В 2014 г. А. А. Светличным и С. В. Плотицким [44] представлено обоснование структуры, методики и результатов создания геоинформационной базы для обеспечения оценки потенциала нитратного загрязнения поверхностных и подземных вод на территории Одесской области.

В 2015 г. исследователями из разных стран были опубликованы результаты исследований геоэкологического состояния родников и их загрязнения нитратами. Г. А. Ореховой и Л. Л. Новых [45] проанализирована динамика содержания нитратов в водах родников урочища «Маршалково» Белгородской области (Россия). Мониторинговые работы, проведенные в течение двух лет позволили выявить, что концентрация азота в грунтовых водах характеризуется четко выраженной циклическостью и имеет два максимума – весенний и осенний. В этом же году Р. В. Галиулиным и др. публикуются результаты исследований по содержанию нитратов в подземных водах г. Челябинска и его окрестностей. Установлено превышение уровня ПДК по нитратам в подземных водах в 1,7–4,0 раза. В родниковых водах содержание нитратов было ниже значения ПДК, однако вниз по течению р. Миасс наблюдалось увеличение их концентрации. Сделан вывод, что важным водоохраным мероприятием является осуществление системного контроля за содержанием нитрат-иона в питьевой воде в условиях использования источников нецентрализованного водоснабжения (колодцев, неглубоких скважин, родников) [46].

Е. М. Нестеров и С. Д. Магомета [47] изучали проблему загрязнения вод питьевого назначения Брянского Полесья (Россия). Из 1199 исследованных колодцев и родников в 544 обнаружено нитратное загрязнение вод с концентрацией более 45 мг/дм³ (от 50 до 500 мг/дм³ и выше). Межпластовые артезианские воды исследованного региона по сравнению с грунтовыми водами загрязнены нитратами в единичных случаях. Выявлены основные причины формирования нитратного загрязнения, среди которых названы низкое качество санитарно-технического состояния источников нецентрализованного водоснабжения, а также отсутствие биологической очистки сточных вод.

В публикациях Г. Ю. Воронюка, И. В. Шумигой, О. Ю. Тарасова, Q. Zhang, V. Yakovlev и др. дана геоэкологическая оценка подземных вод источников питьевого водоснабжения России (Ленинградская область), восточных регионов Украины, Республики Татарстан и Южного Китая, а также рассмотрены аспекты негативного влияния повышенного содержания нитратов в грунтовых водах на здоровье человека [48–52].

В последние годы в Беларуси постоянно уделяется пристальное внимание контролю качества подземных вод как централизованного, так и нецентрализованного водоснабжения, снижению массовой концентрации нитратов в воде шахтных колодцев, проведению гидрогеохимического мониторинга подземных вод. Предложены и разработаны рекомендации по предотвращению загрязнения источников питьевого водоснабжения. Результаты исследований опубликованы А. В. Кудельским, В. И. Пашкевичем, О. В. Васневой, Б. Н. Житеневым, С. В. Андреем, А. А. Острейко, С. Н. Баитовой, Л. А. Наумовичем, Е. А. Ревтович, Т. Г. Флерко, В. Д. Гайдук, Н. В. Буневичем, Т. Н. Агеевой и др.

И. В. Галицкой, В. И. Пашкевичем и Г. И. Батрак в работе [53] рассмотрены факторы формирования качества подземных вод в Минской и Московской городских агломерациях. Отмечен закономерный рост антропогенного загрязнения подземных вод основного эксплуатационного горизонта – днепровско-сожского. Установлено, что наиболее интенсивное нитратное загрязнение подземных вод характерно для группового водозабора «Новинки». В 2009 г. максимальное содержание нитратов в подземных водах этого водозабора составило 62,3–81,8 мг/дм³, а превышение уровня ПДК зафиксировано в девяти скважинах.

Результаты комплексных наблюдений за геоэкологическим состоянием подземных вод на водозаборе «Новинки» обобщены и опубликованы О. В. Васневой с соавторами [54]. С применением метода математического моделирования процессов геофильтрации и геомиграции подземных вод выделены участки расположения потенциальных источников загрязнения подземных вод и дана их характеристика.

Определен перечень мероприятий по улучшению качества вод на данном водозаборе. В диссертационной работе О. В. Васневой изложены результаты оценки влияния источников загрязнения на химический состав и качество подземных вод Минской городской агломерации. Для решения проблем обеспечения качества и охраны подземных вод от загрязнения предложен методологический подход, основанный на рекомендациях по созданию геофильтрационных и геомиграционных математических моделей [55].

Отдельными исследователями были рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с методами очистки подземных вод от нитратов. В публикациях Б. Н. Житенева и С. В. Андреем представлены результаты экспериментальных исследований по определению емкости ионитов, используемых в процессе очистки воды от нитратов методом ионного обмена с целью улучшения качества вод источников питьевого водоснабжения. Особое внимание уделено изучению нитратного загрязнения подземных вод в Брестском регионе и Беларуси в целом. Разработаны технологические схемы очистки подземных вод от нитратов и железа для систем индивидуального водоснабжения [56, 57].

С. Н. Баитовой и Н. Е. Журавской на территории Могилевской области зафиксировано повышенное содержание нитрат-ионов в некоторых родниках, связанное с антропогенным воздействием (интенсивная сельскохозяйственная деятельность). Концентрация нитратов в водах родников составила от 13,1 до 107,0 мг/дм³ [58].

В зарубежной научной периодике в период с 2016 по 2018 г. опубликованы статьи по результатам мониторинга загрязнения нитратами подземных вод в различных регионах мира, а также оценке суммарного риска для здоровья человека (A. Mencio и др. [59], В. В. Дребот, Е. А. Солдатова [60], Д. О. Иванов [61]). Продолжены исследования по изучению нитратного загрязнения вод источников нецентрализованного водоснабжения (колодцы, родники, неглубокие скважины). В статье И. И. Косиновой с соавторами [62] отражены результаты мониторинга качества подземных вод г. Севастополя и Бахчисарае. Выявлено около 700 очагов загрязнения водоносных горизонтов в районах водозаборов централизованного питьевого водоснабжения, где содержание нитратов достигло 360 мг/дм³.

В статье Г. А. Сигора и др. [63] отражено изменение степени загрязненности нитрат-ионами родников г. Севастополя. Проанализирована динамика изменения концентраций нитратов в водах родников города за пять лет (2013–2018 гг.), выявлена тенденция к увеличению уровня их загрязнения нитратами. Показано, что в мае 2015 г. значение ПДК по нитрат-иону в водах одного из исследованных родников был превышен в девять раз.

В это же время А. Е. Lawnczak с соавторами [64] изучено влияние сельского хозяйства и землепользования в целом на загрязнение нитратами грунтовых вод в центральных и западных районах Польши. Были проведены комплексные мониторинговые исследования с целью оценки воздействия сельского хозяйства на качество подземных вод на охраняемой территории (Великопольский национальный парк и прилегающая к нему территория). Показано, что на водоразделах, где преобладают пахотные земли, отмечаются высокие концентрации азота в грунтовых водах. В одной из исследованных скважин было обнаружено аномально высокое значение концентрации нитрат-ионов в подземных водах, подверженных загрязнению из сельскохозяйственных источников, превышающее уровень ПДК почти в девять раз.

За последние пять лет (2020–2025 гг.) появилось много оригинальных работ, посвященных различным аспектам нитратного загрязнения подземных вод. Среди них следует отметить публикации И. И. Косиновой, Э. Н. Тирского, Н. Н. Ткаченко, А. С. Боевой, О. В. Клецкиной, П. А. Красильникова, О. А. Соболевой, В. Н. Башкина, S. Ramalingam, N. O. Kitterød, А. А. Шварца, Л. В. Кирейчевой, Т. Н. Ткачевой, И. И. Шигапова, Ж. С. Баимовой и др.

В работе [65] рассмотрены состояние ресурсов и качество подземных вод в странах Северной Европы и Балтии. В результате проведенных исследований было выявлено, что в центральной и восточной части Эстонии среднее значение концентрации нитратов выше уровня ПДК (норма 50 мг/дм³) зафиксировано в более чем 15 % точек мониторинга подземных вод. Самые высокие концентрации нитрат-ионов в подземных водах Латвии зафиксированы в неглубоких

скважинах (до 5 м) и родниках; полученные значения не превысили ПДК, но были выше естественного фона, особенно в родниках. В Литве превышение уровня ПДК по нитратам в подземных водах наблюдалось на 10 % всех станций мониторинга. Наиболее подвержена нитратному загрязнению подземная гидросфера крупных литовских городов – Вильнюса, Каунаса, Клайпеды. Ухудшение качества воды в них объясняется инфильтрацией недостаточно очищенных сточных вод в более глубокие водоносные горизонты. В Дании применение азота в сельском хозяйстве регулируется с 1980-х гг. В 2016 г. на водосборах, сложенных преимущественно песчаными отложениями, концентрации нитратов в грунтовых водах превысили уровень ПДК примерно в 70 % точек мониторинга. Тенденция к снижению содержания нитратов в подземных водах была обнаружена в точках мониторинга в периоды 1985–1998 и 1999–2014 гг.

Гидрогеохимическая оценка подземных вод г. Липецка и Липецкой области дана в публикации И. И. Косиновой и Р. А. Ляпина [66]. Впервые увеличение концентрации нитратов в подземных водах г. Липецка зафиксировано в 1977 г. на одном из водозаборов. По результатам работ установлены повышенные содержания нитратов в водоносных комплексах области – от 45 до 135 мг/дм³. Авторами проанализировано геозоологическое состояние водоносных комплексов Липецкой области, выделены точечные источники загрязнения подземных вод, а также даны рекомендации о необходимости внедрения системы экологического менеджмента, которая позволит повысить эффективность управленческих решений для обеспечения экологической безопасности.

S. Ramalingam, V. Panneerselvam и S. P. Kaliappan [67] рассмотрен вопрос о влиянии высокого уровня содержания нитратов в грунтовых водах на здоровье человека среди различных возрастных групп в полусухом регионе Южной Индии. На изученной территории значения концентрации нитратов в грунтовых водах варьировали от 24 до 78 мг/дм³. В 50 % проанализированных проб превышен предельно допустимый уровень содержания нитратов (45 мг/дм³). Выявлены основные источники загрязнения нитратами грунтовых вод, среди которых названы неправильная утилизация бытовых отходов из жилых зон, а также интенсивное использование минеральных удобрений на пахотных землях.

Анализ современного состояния подземной гидросферы Беларуси и характеристика связанных с ней геозоологических проблем выполнены В. И. Пашкевичем и О. В. Васневой в работе [68]. Авторами ресурсы подземных вод рассматриваются как один из видов ценных полезных ископаемых страны. Показано, что содержание нитратов в водах колодцев может достигать 300–500 мг/дм³ (7–11 ПДК); неблагоприятными по этому показателю были признаны 40–80 % колодцев, обследованных в период 1990–2010 гг.

Анализ отечественного и международного опыта изучения проблемы нитратного загрязнения подземных вод показал, что она является актуальной для многих регионов и стран мира. Специальные работы, касающиеся установления источников поступления соединений азота в грунтовые воды и более глубоководные напорные воды, определения значений концентрации в них нитрат-иона, пространственного распространения загрязнения проводились на протяжении последних 60–70 лет и выполняются в настоящее время. Прогресс в научных исследованиях по рассматриваемому в настоящей статье вопросу, позволил не только определить общие особенности формирования и охарактеризовать динамику нитратного загрязнения подземных вод, но и разработать практические предложения и технологические решения по предотвращению и/или минимизации поступления контаминантов в подземную гидросферу, управлению геозоологическим риском для здоровья человека. Однако, несмотря на большое число публикаций по проблеме нитратного загрязнения подземных вод и пристальное внимание к ней со стороны научного сообщества, природоохранных организаций и ведомств, в Беларуси исследования по большей части выполнены по отдельным водозаборам или объектам в пределах отдельных административных единиц. Это обуславливает необходимость проведения комплексного и детального изучения закономерностей формирования нитратного загрязнения подземных вод, что позволит более обоснованно подходить к разработке путей решения этой важной геозоологической проблемы.

Заключение

За более чем шестидесятилетний период исследований накоплен обширный материал по загрязнению нитрат-ионами подземных вод источников централизованного и нецентрализованного водоснабжения (колодцы, родники, скважины) в различных регионах и странах мира. На основании полученных результатов специалистами разработаны мероприятия по улучшению качества подземных вод, реализуются мониторинговые гидрогеохимические исследования вод источников питьевого водоснабжения, разработаны и применяются геоинформационные системы для оценки пространственного распределения нитратов в подземных водах, оценено негативное влияние повышенного содержания нитратов в подземных водах на здоровье человека.

Из числа зарубежных авторов весомый вклад в изучение рассматриваемой проблемы внесли И. И. Косинова, Р. В. Галиулин, Н. Н. Ткаченко, Н. И. Петухов, О. Ю. Тарасов, Г. А. Сигора, Е. М. Нестеров и С. Д. Магомета, Е. В. Пиннекер, С. Л. Шварцев, А. А. Светличный, С. В. Плотицкий, Т. П. Качановская, П. Д. Ключенко, А. Е. Lawniczka, K. Osenbrück, R. Wolter, S. Ramalingam, I. A. Dar, Q. Zhang, A. Klimas, N. O. Kitterød, A. E. Williams, G. R. Hallberg, J. F. Power и др. В Беларуси значимые результаты, посвященные вопросу нитратного загрязнения подземных вод получены А. В. Кудельским, М. П. Оношко, В. И. Пашкевичем, Г. Н. Новиковым, В. Н. Яромским, Б. Н. Житеневым, В. Г. Жогло, Е. В. Дроздовой, О. В. Васневой, О. В. Шершневым, А. Н. Галкиным, Т. Г. Флерко и др.

В настоящее время загрязнение подземных вод нитратами остается одной из актуальных геозоологических проблем, как в мире, так и в Беларуси. Однако нужно констатировать, что результаты проведенных в нашей стране исследований по большей части посвящены отдельным водозаборам или объектам в пределах определенных административных единиц.

Анализ проблемы нитратного загрязнения подземных вод позволил выделить мероприятия по минимизации вредного воздействия нитрат-ионов на окружающую среду и человека. Среди них, проведение коммунального благоустройства населенных пунктов, рациональное применение на сельскохозяйственных угодьях минеральных и органических удобрений. Необходимо также улучшение контроля за состоянием качества подземных вод и процессами распространения загрязнения, совершенствование существующей системы мониторинга подземных вод в районах водозаборов. В качестве мер по улучшению водоснабжения в сельских населенных пунктах может быть рекомендовано использование ионообменных фильтров для очистки вод от нитратов, однако кардинальным решением является перевод водоснабжения на использование артезианских скважин, эксплуатирующих более глубокие водоносные горизонты.

Необходима постановка специальных работ с целью изучения общих закономерностей формирования нитратного загрязнения подземных вод и разработки рекомендаций по улучшению качества вод хозяйственно-питьевого назначения, уменьшению негативных последствий для окружающей среды и здоровья человека.

Список цитированных источников

1. Петухов, Н. И. К вопросу о миграции нитратов в почве и грунтовых водах / Н. И. Петухов // Гигиена и санитария. – 1969. – № 12. – С. 76–78.
2. Пашкевич, В. И. Гидрогеологические факторы, определяющие комфортность среды обитания человека на территории Центральной Беларуси / В. И. Пашкевич, Е. А. Кухарик, А. М. Кухарик // Природопользование. – 2025. – № 1. – С. 131–137. – DOI: 10.47612/2079-3928-2025-1-131-137.
3. Strelbel, O. Nitrate Pollution of Groundwater in Western Europe / O. Strelbel, W. H. M. Duynisveld, J. Böttcher // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 1989. – Vol. 26, Iss. 3–4. – P. 189–214. – DOI: 10.1016/0167-8809(89)90013-3.
4. Hallberg, G. R. Nitrate in Ground Water in the United States / G. R. Hallberg // Developments in Agricultural & Managed Forest Ecology. – 1989. – Vol. 21. – P. 35–74. – DOI: 10.1016/B978-0-444-87393-4.50009-5.

5. Power, J. F. Nitrate Contamination of Groundwater in North America / J. F. Power, J. S. Schepers // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 1989. – Vol. 26, Iss. 3–4. – P. 165–187. – DOI: 10.1016/0167-8809(89)90012-1.
6. Impact of Diffuse Nitrate Pollution Sources on Groundwater Quality – Some Examples from Czechoslovakia / V. Benes, V. Pekny, J. Skorepa, J. Vrba // *Environmental Health Perspectives*. – 1989. – Vol. 83. – P. 5–24. – DOI: 10.1289/ehp.89835.
7. Хвесик, М. А. О предупреждении загрязнения подземных и поверхностных вод / М. А. Хвесик // *Гигиена и санитария*. – 1990. – № 10. – С. 16–18.
8. Ключенко, П. Д. Особенности накопления нитратов и нитритов в источниках питьевого назначения / П. Д. Ключенко, А. И. Сакевич // *Гигиена и санитария*. – 1991. – № 6. – С. 17–20.
9. Klimas, A. Nitrate contamination of groundwater In the Republic of Lithuania / A. Klimas, B. Paukstys // *Nor. geol. unders. Bull.* – 1993. – Vol. 424. – P. 75–85.
10. НСМОС Беларуси – 30 лет! Перспективы развития : научно-практическое издание / под общ. ред. главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – Минск, 2023. – 94 с.
11. Пресные подземные воды Беларуси (ресурсы и качество) / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясоевев [и др.] // *Літасфера*. – 1994. – № 1. – С. 160–167.
12. Оношко, М. П. Азот в окружающей среде Беларуси : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук : 04.00.02 / Мария Петровна Оношко ; Ин-т геологических наук НАН Беларуси. – Минск, 1998. – 30 с.
13. Азот в водах Западного Поозерья / Г. В. Новиков, М. П. Оношко, Н. А. Капельщиков [и др.] // *Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География*. – 1998. – № 1. – С. 53–57.
14. Natural and Anthropogenic Nitrate Contamination of Groundwater in a Rural Community, California / A. E. Williams, L. J. Lund, J. A. Johnson, Z. J. Kabala // *Environmental Science & Technology*. – 1998. – Vol. 32, Iss. 1. – P. 32–39. – DOI: 10.1021/es970393a.
15. Wolter, R. Nitrate contamination of surface and groundwater in Germany – results of monitoring / R. Wolter // *Water and Sustainable Development*. – 2004. – Vol. 48. – P. 71–84.
16. Timescales and development of groundwater pollution by nitrate in drinking water wells of the Jähna-Aue, Saxonia, Germany / K. Osenbrück, S. Fiedler, K. Knöller [et al.] // *Water Resources Research*. – 2006. – Vol. 42, W12416. – P. 1–20. – DOI: 10.1029/2006WR004977.
17. Качановская, Т. П. Исследование качества подземных вод г. Харькова / Т. П. Качановская // *Коммунальное хозяйство городов*. – 2006. – № 74. – С. 218–222.
18. Nas, B. Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya (Turkey): A GIS perspective / B. Nas, A. Berkay // *Journal of Environmental Management*. – 2006. – Vol. 79, Iss. 1. – P. 30–70. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.05.010.
19. Прудовский, Э. Л. Проблемы площадного нитратного загрязнения подземных вод Липецкой области / Э. Л. Прудовский, С. М. Бойко // *Разведка и охрана недр*. – 2007. – № 7. – С. 70–74.
20. Калинин, М. Ю. Степень химического загрязнения подземных вод Барановичского района / М. Ю. Калинин, М. А. Писарик // *Вестник Брестского государственного технического университета Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология*. – 2001. – № 2. – С. 63–66.
21. Хартон, М. О. Оценка уровней нитратного загрязнения колодезных вод Барановичского района / М. О. Хартон, С. А. Хорева // *Наука – образованию, производству, экономике : материалы V междунар. науч.-технич. конф. : в 2 т. / Белорусский нац. технич. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталев, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко*. – Минск : БНТУ, 2007. – Т. 2. – С. 464–468.
22. Пашкевич, В. И. Условия формирования нитратного загрязнения грунтовых вод Беларуси / В. И. Пашкевич // *Природопользование и охрана окружающей среды – 2000 : сб. ст. ; редкол.: И. И. Лиштван (гл. ред.) [и др.]*. – Минск : ИПИГРЭ НАН Беларуси, 2000. – С. 30–31.
23. Оценка уровней нитратного загрязнения подземных вод, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения / В. И. Пашкевич, В. Д. Коркин, Н. П. Волкова [и др.] // *Природные ресурсы*. – 2003. – № 3. – С. 101–102.
24. Кудельский, А. В. Водные ресурсы Беларуси: состояние, проблемы и перспективы использования / А. В. Кудельский // *Наука и инновации*. – 2006. – № 10 (44). – С. 13–14.
25. Пресные подземные воды Беларуси: ресурсы и качество / М. Г. Ясоевев, Н. В. Ястребова, Н. И. Ясоевеева, О. В. Шершнева // *Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. – 2007. – № 2. – С. 67–71.
26. Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities / Y. Umezawa, T. Hosono, S. Onodera [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2008. – Vol. 404, Iss. 2–3. – P. 361–376. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.021.
27. Колесникова, Е. В. Проявление нитратного загрязнения в грунтовых и подземных водах / Е. В. Колесникова, А. Ф. Симакин // *Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы V Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 28–30 окт. 2009 г. : в 2 т. / Тульский гос. ун-т ; под общ. ред. Р. А. Ковалева – Тула : ТулГУ, 2009. – Т. 2. – С. 333–336.*
28. Кудельский, А. В. Питьевые воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. К. Коваленко // *Питание и обмен веществ : сб. науч. ст. / НАН Беларуси, Ин-т фармакологии и биохимии ; под ред. А. Г. Мойсеенка*. – Минск, 2008. – Вып. 3. – С. 134–143.
29. Феденя, В. М. Экологическое состояние подземных вод г. Бреста / В. М. Феденя, С. И. Кузьмин, М. А. Писарик // *Проблемы водоснабжения, водоотведения и энергосбережения в западном регионе Республики Беларусь : сб. материалов междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, Брест, 22–23 апр. 2010 г. / Мин-во образования Респ. Беларусь, Брестский гос. технич. ун-т ; редкол.: С. В. Басов [и др.]*. – Брест : БрГТУ, 2010. – С. 336–339.
30. Дроздова, Е. В. Нитратное загрязнение питьевых вод в Республике Беларусь: анализ состояния проблемы и обоснование направлений дальнейших исследований / Е. В. Дроздова, В. В. Бурая, В. А. Рудик // *Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. / Респ. науч.-практ. центр гигиены ; редкол.: В. П. Филонов (гл. ред.) [и др.]*. – Минск, 2010. – Вып. 15. – С. 56–62.
31. Жогло, В. Г. Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси / В. Г. Жогло, А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2008. – 161 с.
32. Новых, Л. Л. Влияние положения родников в ландшафтах на содержание нитратов в их водах / Л. Л. Новых, Ю. В. Юдина, Г. А. Орехова // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. – 2012. – Т. 18, № 3 (122). – С. 242–250.
33. Groundwater nitrate contamination and risk assessment in an agricultural area, South Korea / J. Y. Cheong, S. Y. Hamm, J. H. Lee [et al.] // *Environmental Earth Sciences*. – 2012. – Vol. 66. – P. 1127–1136. – DOI: 10.1007/s12665-011-1320-5.
34. Wick, K. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators / K. Wick, C. Heumesser, E. Schmid // *Journal of Environmental Management*. – 2012. – Vol. 111. – P. 178–186. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.06.030.
35. Dar, I. A. Nitrate contamination in groundwater of Sopore town and its environs, Kashmir, India / I. A. Dar, A. D. Mithas, K. Sankar // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2010. – Vol. 3. – P. 267–272. – DOI: 10.1007/s12517-009-0067-8.
36. Ясоевев, М. Г. Экологические аспекты формирования качества вод на групповых водозаборах Минской агломерации / М. Г. Ясоевев, Д. Д. Таликадзе, А. А. Колосовский // *Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. – 2013. – № 1 (75). – С. 19–23.
37. Флерко, Т. Г. Ландшафтно-экологические условия размещения сельских поселений Гомельской области и химическое загрязнение вод колодцев / Т. Г. Флерко, О. В. Шершнева // *Природопользование*. – 2012. – Вып. 21. – С. 166–173.

38. Khandare, H. W. Scenario of Nitrate contamination in Groundwater: Its causes and Prevention / H. W. Khandare // International Journal of ChemTech Research. – 2013. – Vol. 5, No. 4. – P. 1921–1926.
39. Hamed, Y. Nitrate contamination in groundwater in the Sidi Aich–Gafsa oases region, Southern Tunisia / Y. Hamed, S. Awad, A. B. Saad // Environmental Earth Sciences. – 2013. – Vol. 70. – P. 2335–2348. – DOI: 10.1007/s12665-013-2445-5.
40. Клецкина, О. В. Азотное загрязнение подземных вод и управление их качеством в промышленных районах / О. В. Клецкина, И. И. Минькевич // Вестник Пермского университета. Геология. – 2013. – № 4 (21). – С. 8–20.
41. Нитраты в колодезной воде Владивостока / Е. А. Аверина, И. А. Андаякова, С. В. Зарецкая, Ю. В. Ковалева // Здоровье. Медицинская экология. Наука. – 2013. – № 2–3 (52). – С. 28–29.
42. Шкаликов, В. А. Химический состав основных источников подземных вод на территории г. Смоленска / В. А. Шкаликов, И. В. Анкинович // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 5. – С. 448–454.
43. Каримова, А. В. Содержание нитрат-ионов в питьевых водах Восточно-Казахской области / А. В. Каримова // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – № 4 (41). – С. 402–405.
44. Светличный, А. А. Геоинформационная база данных оценки потенциала нитратного загрязнения поверхностных и грунтовых вод / А. А. Светличный, С. В. Плотницкий // Вісник Одеський національний університет. Серія: Географічні та геологічні науки. – 2014. – Т. 19, вип. 2. – С. 58–69.
45. Орехова, Г. А. Динамика содержания нитратов в водах родников урочища «Маршалково» / Г. А. Орехова, Л. Л. Новых // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI Междунар. науч. конф., Белгород, 12–16 окт. 2015 г.; отв. ред. П. В. Голушов. – Белгород: Политерра, 2015. – С. 277–280.
46. Галиулин, Р. В. Загрязнение нитратами водных экосистем при антропогенной нагрузке / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина, Р. Р. Хоробрых // Вода: химия и экология. – 2015. – № 11 (89). – С. 3–6.
47. Нестеров, Е. М. Экологические проблемы питьевого водоснабжения Брянского Полесья / Е. М. Нестеров, С. Д. Магомета // География: развитие науки и образования: коллективная монография по материалам Междунар. науч.-практич. конф. LXVIII Герценовские чтения, посвящ. 70-летию создания ЮНЕСКО, Санкт-Петербург, 22–25 апр. 2015 г.; отв. ред. В. П. Соломин, В. А. Румянцев, В. А. Субетто, Н. В. Ловелиус. – СПб.: Российский гос. педагогич. ун-т им. А. И. Герцена, 2015. – С. 321–326.
48. Воронюк, Г. Ю. Пространственно-временная изменчивость химического состава подземных вод на территории Ижорского плато / Г. Ю. Воронюк, В. М. Питулько, В. В. Кулибаба // Региональная экология. – 2015. – № 6 (41). – С. 67–79.
49. Шумидай, И. В. Влияние нитратов подземных вод на состояние здоровья населения / И. В. Шумидай // Агроэкологічний журнал. – 2015. – № 4. – С. 53–58.
50. Нитратное загрязнение подземных вод на территории Республики Татарстан / О. Ю. Тарасов, И. И. Шакирова, Ф. М. Абдуллина, Р. Ч. Юранец-Лужаева // Экология и промышленная безопасность. – 2015. – № 1–2. – С. 33–35.
51. Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China / Q. Zhang, J. Sun, J. Liu [et al.] // Journal of Contaminant Hydrology. – 2015. – Vol. 182. – P. 221–230. – DOI: 10.1016/j.jconhyd.2015.09.009.
52. Nitrates in springs and rivers of East Ukraine: Distribution, contamination and fluxes / V. Yakovlev, Y. Vystavna, D. Diadin, Y. Vergeles // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 53. – P. 71–78. – DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.12.009.
53. Галицкая, И. В. Качество пресных подземных вод Минской и Московской городских агломераций: современное состояние, тенденции изменения, возможность управления / И. В. Галицкая, В. И. Пашкевич, Г. И. Батрак // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2015. – № 4. – С. 340–351.
54. Геоэкологическое состояние подземных вод на водозаборе «Новинки» Минска и разработка мероприятий по предотвращению их антропогенного загрязнения / О. В. Васнева, В. И. Пашкевич, А. Н. Авхимович [и др.] // Літасфера. – 2016. – № 2 (45). – С. 122–128.
55. Васнева, О. В. Оценка влияния источников загрязнения на химический состав и качество подземных вод Минской городской агломерации: дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.01.07 / Васнева Ольга Владимировна; РУП «НПЦ по геологии». – Минск, 2014. – 333 л.
56. Житенев, Б. Н. Снижение массовой концентрации нитратов в воде шахтных колодцев для водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2016. – № 2 (98). – С. 62–65.
57. Житенев, Б. Н. Современное состояние проблемы загрязнения подземных вод Беларуси соединениями азота и пути ее решения / Б. Н. Житенев, С. В. Андreyuk // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2016. – № 4 (100). – С. 52–57.
58. Байтова, С. Н. Мониторинг содержания нитратов в подземных водах / С. Н. Байтова, Н. Е. Журавская // SWorldJournal. – 2022. – № 11 (01). – С. 62–67. – DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-01-087.
59. Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else? / A. Mencio, J. Mas-Pla, N. Otero [et al.] // Science of the Total Environment. – 2016. – Vol. 539. – P. 241–251. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.151.
60. Дребот, В. В. Оценка суммарного риска для здоровья человека в связи с распространением нитратного загрязнения грунтовых вод в районе озера Поянху (Китай) / В. В. Дребот, Е. А. Солдатова // Экология энергетики – 2017: труды Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 23–24 нояб. 2017 г. – М.: МЭИ, 2017. – С. 36–38.
61. Иванов, Д. О. Азотсодержащие компоненты в подземных водах / Д. О. Иванов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2017. – № 17. – С. 197–201.
62. Мониторинг загрязненности нитрат-ионами подземных вод территории городов Севастополя и Бахчисарай / И. И. Косинова, Г. А. Сигора, Л. А. Ничкова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2016. – № 3. – С. 123–127.
63. Изменение загрязненности нитрат-ионами родников города Севастополя / Г. А. Сигора, Т. В. Ляшко, Л. А. Ничкова, Т. Ю. Хоменко // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – № 14 (34). – С. 150–156. – DOI: 10.33075/2220-5861-2018-4-150-156.
64. Impact of agriculture and land use on nitrate contamination in groundwater and running waters in central-west Poland / A. E. Lawniczak, J. Zbierska, B. Nowak [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2016. – Vol. 188, № 172. – P. 1–17. – DOI: 10.1007/s10661-016-5167-9.
65. Hydrogeology and groundwater quality in the Nordic and Baltic countries / N. O. Kitterød, J. Kvaerner, P. Aagaard [et al.] // Hydrology Research. – 2022. – Vol. 53, Iss. 7. – P. 958–982. – DOI: 10.2166/nh.2022.018.
66. Косинова, И. И. Система экологического менеджмента состояния неоген-четвертичного и верхнедевонского водоносных комплексов территории Липецкой области / И. И. Косинова, Р. А. Ляпин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2020. – № 2. – С. 83–89. – DOI: 10.17308/geology.2020.2/2862.
67. Ramalingam, S. Effect of high nitrate contamination of groundwater on human health and water quality index in semi-arid region, South India / S. Ramalingam, B. Panneerselvam, S. P. Kaliappan // Arabian Journal of Geosciences. – 2022. – Vol. 15, No. 242. – С. 1–14. – DOI: 10.1007/s12517-022-09553-x.
68. Пашкевич, В. Гидроминеральные ресурсы / В. Пашкевич, О. Васнева // Наука и инновации. – 2025. – № 3. – С. 11–15.

References

1. Petuhov, N. I. K voprosu o migracii nitratov v pochve i gruntovyh vodah / N. I. Petuhov // Gigiena i sanitariya. – 1969. – № 12. – С. 76–78.

2. Pashkevich, V. I. Hidrogeologicheskie faktory, opredelyayushchie komfortnost' srede obitaniya cheloveka na territorii Central'noj Belarusi / V. I. Pashkevich, E. A. Kuharik, A. M. Kuharik // Prirodopol'zovanie. – 2025. – № 1. – S. 131–137. – DOI: 10.47612/2079-3928-2025-1-131-137.
3. Strebel, O. Nitrate Pollution of Groundwater in Western Europe / O. Strebel, W. H. M. Duynisveld, J. Böttcher // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 1989. – Vol. 26, Iss. 3–4. – P. 189–214. – DOI: 10.1016/0167-8809(89)90013-3.
4. Hallberg, G. R. Nitrate in Ground Water in the United States / G. R. Hallberg // Developments in Agricultural & Managed Forest Ecology. – 1989. – Vol. 21. – P. 35–74. – DOI: 10.1016/B978-0-444-87393-4.50009-5.
5. Power, J. F. Nitrate Contamination of Groundwater in North America / J. F. Power, J. S. Schepers // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 1989. – Vol. 26, Iss. 3–4. – P. 165–187. – DOI: 10.1016/0167-8809(89)90012-1.
6. Impact of Diffuse Nitrate Pollution Sources on Groundwater Quality – Some Examples from Czechoslovakia / V. Benes, V. Pekny, J. Skorepa, J. Vrba // Environmental Health Perspectives. – 1989. – Vol. 83. – P. 5–24. – DOI: 10.1289/ehp.89835.
7. Hvesik, M. A. O preduprezhdenii zagryazneniya podzemnyh i poverhnostnyh vod / M. A. Hvesik // Gigiena i sanitariya. – 1990. – № 10. – S. 16–18.
8. Klochenko, P. D. Osobennosti nakopleniya nitratov i nitritov v istochnikah pit'evogo naznacheniya / P. D. Klochenko, A. I. Sakevich // Gigiena i sanitariya. – 1991. – № 6. – S. 17–20.
9. Klimas, A. Nitrate contamination of groundwater in the Republic of Lithuania / A. Klimas, B. Paukstys // Nor. geol. unders. Bull. – 1993. – Vol. 424. – P. 75–85.
10. NSMOS Belarusi – 30 let! Perspektivy razvitiya : nauchno-prakticheskoe izdanie / pod obsch. red. glavnogo informacionno-analiticheskogo centra Nacional'noj sistemy monitoringa okruzhayushchej srede v Respublike Belarus'. – Minsk, 2023. – 94 s.
11. Presnye podzemnye vody Belarusi (resursy i kachestvo) / A. V. Kudel'skij, V. I. Pashkevich, M. G. YAsoveev [i dr.] // Litasfera. – 1994. – № 1. – S. 160–167.
12. Onoshko, M. P. Azot v okruzhayushchej srede Belarusi : avtoref. dis. ... d-ra geol.-min. nauk : 04.00.02 / Mariya Petrovna Onoshko ; In-t geologicheskikh nauk NAN Belarusi. – Minsk, 1998. – 30 s.
13. Azot v vodah Zapadnogo Poozer'ya / G. V. Novikov, M. P. Onoshko, N. A. Kapel'shchikov [i dr.] // Vestnik BGU. Ser. 2, Himiya. Biologiya. Geografiya. – 1998. – № 1. – S. 53–57.
14. Natural and Anthropogenic Nitrate Contamination of Groundwater in a Rural Community, California / A. E. Williams, L. J. Lund, J. A. Johnson, Z. J. Kabala // Environmental Science & Technology. – 1998. – Vol. 32, Iss. 1. – P. 32–39. – DOI: 10.1021/es970393a.
15. Wolter, R. Nitrate contamination of surface and groundwater in Germany – results of monitoring / R. Wolter // Water and Sustainable Development. – 2004. – Vol. 48. – P. 71–84.
16. Timescales and development of groundwater pollution by nitrate in drinking water wells of the Jahna-Aue, Saxonia, Germany / K. Osenbrück, S. Fiedler, K. Knöller [et al.] // Water Resources Research. – 2006. – Vol. 42, W12416. – P. 1–20. – DOI: 10.1029/2006WR004977.
17. Kachanovskaya, T. P. Issledovanie kachestva podzemnyh vod g. Har'kova / T. P. Kachanovskaya // Kommunal'noe hozyajstvo gorodov. – 2006. – № 74. – S. 218–222.
18. Nas, B. Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya (Turkey): A GIS perspective / B. Nas, A. Berkay // Journal of Environmental Management. – 2006. – Vol. 79, Iss. 1. – P. 30–70. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.05.010.
19. Prudovskij, E. L. Problemy ploshchadnogo nitratnogo zagryazneniya podzemnyh vod Lipeckoj oblasti / E. L. Prudovskij, S. M. Bojko // Razvedka i ohrana nedr. – 2007. – № 7. – S. 70–74.
20. Kalinin, M. YU. Stepen' himicheskogo zagryazneniya podzemnyh vod Baranovichskogo rajona / M. YU. Kalinin, M. A. Pisarik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Seriya: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, ekologiya. – 2001. – № 2. – S. 63–66.
21. Harton, M. O. Ocenka urovnej nitratnogo zagryazneniya kolodeznyh vod Baranovichskogo rajona / M. O. Harton, S. A. Horeva // Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike : materialy V mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. : v 2 t. / Belorusskij nac. tekhnich. un-t ; redkol.: B. M. Hrustalev, F. A. Romanyuk, A. S. Kalinichenko. – Minsk : BNTU, 2007. – T. 2. – S. 464–468.
22. Pashkevich, V. I. Usloviya formirovaniya nitratnogo zagryazneniya gruntovyh vod Belarusi / V. I. Pashkevich // Prirodo-pol'zovanie i ohrana okruzhayushchej srede – 2000 : sb. st. ; redkol.: I. I. Lishtvan (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : IPIPRE NAN Belarusi, 2000. – S. 30–31.
23. Ocenka urovnej nitratnogo zagryazneniya podzemnyh vod, ispol'zuemyh dlya centralizovannogo i nentralizovannogo vodosnabzheniya / V. I. Pashkevich, V. D. Korkin, N. P. Volkova [i dr.] // Prirodnye resursy. – 2003. – № 3. – S. 101–102.
24. Kudel'skij, A. V. Vodnye resursy Belarusi: sostoyanie, problemy i perspektivy ispol'zovaniya / A. V. Kudel'skij // Nauka i innovacii. – 2006. – № 10 (44). – S. 13–14.
25. Presnye podzemnye vody Belarusi: resursy i kachestvo / M. G. YAsoveev, N. V. YAstrebova, N. I. YAsoveeva, O. V. SHershnev // Vesci BDPU. Seriya 3. Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyologiya. Geografiya. – 2007. – № 2. – S. 67–71.
26. Sources of nitrate and ammonium contamination in groundwater under developing Asian megacities / Y. Umezawa, T. Hosono, S. Onodera [et al.] // Science of The Total Environment. – 2008. – Vol. 404, Iss. 2–3. – P. 361–376. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.04.021.
27. Kolesnikova, E. V. Proyavlenie nitratnogo zagryazneniya v gruntovyh i podzemnyh vodah / E. V. Kolesnikova, A. F. Simakin // Social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki : materialy V Mezhdunar. konf. po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki, Tula, 28–30 okt. 2009 g. : v 2 t. / Tul'skij gos. un-t ; pod obsch. red. R. A. Kovaleva – Tula : TulGU, 2009. – T. 2. – S. 333–336.
28. Kudel'skij, A. V. Pit'evye vody Belarusi / A. V. Kudel'skij, V. I. Pashkevich, M. K. Kovalenko // Pitanie i obmen veshchestv : sb. nauch. st. / NAN Belarusi, In-t farmakologii i biohimii ; pod red. A. G. Mojseenka. – Minsk, 2008. – Vyp. 3. – S. 134–143.
29. Fedenya, V. M. Ekologicheskoe sostoyanie podzemnyh vod g. Bresta / V. M. Fedenya, S. I. Kuz'min, M. A. Pisarik // Problemy vodosnabzheniya, vodootvedeniya i energosberezheniya v zapadnom regione Respubliki Belarus' : sb. materialov mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf., posvyashch. 65-letiyu Pobedy v Veli-koy Otechestvennoj vojne, Brest, 22–23 apr. 2010 g. / Min-vo obrazovaniya Resp. Belarus', Brestskij gos. tekhnich. un-t ; redkol.: S. V. Basov [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2010. – S. 336–339.
30. Drozdova, E. V. Nitratnoe zagryaznenie pit'evykh vod v Respublike Belarus': analiz sostoyaniya problemy i obosnovanie napravlenij dal'nejshih issledovanij / E. V. Drozdova, V. V. Buraya, V. A. Rudik // Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda : sb. nauch. tr. / Resp. nauch.-prakt. centr gigieny ; redkol.: V. P. Filonov (gl. red.) [i dr.]. – Minsk, 2010. – Vyp. 15. – S. 56–62.
31. ZHoglo, V. G. Monitoring podzemnyh vod na vodozaborah i ekologicheski opasnykh ob'ektah yugo-vostoka Belarusi / V. G. ZHoglo, A. N. Galkin. – Vitebsk : VGU im. P. M. Masherova, 2008. – 161 s.
32. Novyh, L. L. Vliyaniye polozheniya rodnikov v landshaftah na sodержaniye nitratov v ih vodah / L. L. Novyh, YU. V. YUdina, G. A. Orekhova // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. – 2012. – T. 18, № 3 (122). – S. 242–250.
33. Groundwater nitrate contamination and risk assessment in an agricultural area, South Korea / J. Y. Cheong, S. Y. Hamm, J. H. Lee [et al.] // Environmental Earth Sciences. – 2012. – Vol. 66. – P. 1127–1136. – DOI: 10.1007/s12665-011-1320-5.
34. Wick, K. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators / K. Wick, C. Heumesser, E. Schmid // Journal of Environmental Management. – 2012. – Vol. 111. – P. 178–186. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.06.030.
35. Dar, I. A. Nitrate contamination in groundwater of Sopore town and its environs, Kashmir, India / I. A. Dar, A. D. Mithas, K. Sankar // Arabian Journal of Geosciences. – 2010. – Vol. 3. – P. 267–272. – DOI: 10.1007/s12517-009-0067-8.

36. YAsoveev, M. G. Ekologicheskie aspekty formirovaniya kachestva vod na gruppovykh vodozaborah Minskoj aglomeracii / M. G. YAsoveev, D. D. Talikadze, A. A. Kolosovskij // Vesci BDPU. Seryya 3. Fizika. Matematika. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya. – 2013. – № 1 (75). – S. 19–23.
37. Flerko, T. G. Landshaftno-ekologicheskie usloviya razmeshcheniya sel'skih poselenij Gomel'skoj oblasti i himicheskoe zagryaznenie vod kolodcev / T. G. Flerko, O. V. SHershnev // Prirodopol'zovanie. – 2012. – Vyp. 21. – S. 166–173.
38. Khandare, H. W. Scenario of Nitrate contamination in Groundwater: Its causes and Prevention / H. W. Khandare // International Journal of ChemTech Research. – 2013. – Vol. 5, No. 4. – P. 1921–1926.
39. Hamed, Y. Nitrate contamination in groundwater in the Sidi Aich-Gafsa oases region, Southern Tunisia / Y. Hamed, S. Awad, A. B. Saad // Environmental Earth Sciences. – 2013. – Vol. 70. – P. 2335–2348. – DOI: 10.1007/s12665-013-2445-5.
40. Kleckina, O. V. Azotnoe zagryaznenie podzemnykh vod i upravlenie ih kachestvom v promyshlennykh rajonah / O. V. Kleckina, I. I. Min'kevich // Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. – 2013. – № 4 (21). – S. 8–20.
41. Nitraty v kolodznoj vode Vladivostoka / E. A. Averina, I. A. Andayakova, S. V. Zareckaya, YU. V. Kovaleva // Zdorov'e. Medicinskaya ekologiya. Nauka. – 2013. – № 2–3 (52). – S. 28–29.
42. SHkalikov, V. A. Himicheskij sostav osnovnykh istochnikov podzemnykh vod na territorii g. Smolenska / V. A. SHkalikov, I. V. Ankinovich // Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2013. – № 5. – S. 448–454.
43. Karimova, A. V. Soderzhanie nitrat-ionov v pit'evykh vodah Vostochno-Kazahskoj oblasti / A. V. Karimova // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya. – 2013. – № 4 (41). – S. 402–405.
44. Svetlichnyj, A. A. Geoinformacionnaya baza dannykh ocenki potenciala nitratnogo zagryazneniya poverhnostnykh i gruntovykh vod / A. A. Svetlichnyj, S. V. Plotnickij // Visnik Odes'kij nacional'nij universitet. Seriya: Geografichni ta geologichni nauki. – 2014. – T. 19, vip. 2. – S. 58–69.
45. Orekhova, G. A. Dinamika soderzhaniya nitratov v vodah rodnikov urochishcha «Marshalkovo» / G. A. Orekhova, L. L. Novyh // Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situaciya v Evropejskoj Rossii i sopredel'nykh stranah : materialy VI Mezhdunar. nauch. konf., Belgorod, 12–16 okt. 2015 g. ; otv. red. P. V. Goleusov. – Belgorod : Politerra, 2015. – S. 277–280.
46. Galiulin, R. V. Zagryaznenie nitratami vodnykh ekosistem pri antropogennoj nagruzke / R. V. Galiulin, R. A. Galiulina, R. R. Horobryh // Voda: himiya i ekologiya. – 2015. – № 11 (89). – S. 3–6.
47. Nesterov, E. M. Ekologicheskie problemy pit'evogo vodosnabzheniya Bryanskogo Poles'ya / E. M. Nesterov, S. D. Magometa // Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya : kollektivnaya monografiya po materialam Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. LXVIII Gercenovskie chteniya, posvyashch. 70-letiyu sozdaniya YUNESKO, Sankt-Peterburg, 22–25 apr. 2015 g. ; otv. red. V. P. Solomin, V. A. Romyancev, V. A. Subetto, N. V. Lovelius. – Spb. : Rossijskij gos. pedagogich. yn-t im. A. I. Gercena, 2015. – S. 321–326.
48. Voronyuk, G. YU. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' himicheskogo sostava podzemnykh vod na territorii Izhorskogo plato / G. YU. Voronyuk, V. M. Pitul'ko, V. V. Kulibaba // Regional'naya ekologiya. – 2015. – № 6 (41). – S. 67–79.
49. SHumigaj, I. V. Vliyanie nitratov podzemnykh vod na so-stoyanie zdorov'ya naseleniya / I. V. SHumigaj // Agroekologichnij zhurnal. – 2015. – № 4. – S. 53–58.
50. Nitratnoe zagryaznenie podzemnykh vod na territorii Respubliki Tatarstan / O. YU. Tarasov, I. I. SHakirova, F. M. Abdullina, R. CH. YUranec-Luzhaeva // Ekologiya i promyshlennaya bezopasnost'. – 2015. – № 1–2. – S. 33–35.
51. Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China / Q. Zhang, J. Sun, J. Liu [et al.] // Journal of Contaminant Hydrology. – 2015. – Vol. 182. – P. 221–230. – DOI: 10.1016/j.jconhyd.2015.09.009.
52. Nitrates in springs and rivers of East Ukraine: Distribution, contamination and fluxes / V. Yakovlev, Y. Vystavna, D. Diadin, Y. Vergeles // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 53. – P. 71–78. – DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.12.009.
53. Galickaya, I. V. Kachestvo presnykh podzemnykh vod Minskoj i Moskovskoj gorodskih aglomeracij: sovremennoe sostoyanie, tendencii izmeneniya, vozmozhnost' upravleniya / I. V. Galickaya, V. I. Pashkevich, G. I. Batrak // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya. – 2015. – № 4. – S. 340–351.
54. Geoekologicheskoe sostoyanie podzemnykh vod na vodozabore «Novinki» Minska i razrabotka meropriyatij po predotvrashcheniyu ih antropogennogo zagryazneniya / O. V. Vasneva, V. I. Pashkevich, A. N. Avhimovich [i dr.] // Litasfera. – 2016. – № 2 (45). – S. 122–128.
55. Vasneva, O. V. Ocenka vliyaniya istochnikov zagryazneniya na himicheskij sostav i kachestvo podzemnykh vod Minskoj gorodskoj aglomeracii : dis. ... kand. geol.-min. nauk : 25.01.07 / Vasneva Olga Vladimirovna ; RUP «NPC po geologii». – Minsk, 2014. – 333 l.
56. ZHitenev, B. N. Snizhenie massovoj koncentracii nitratov v vode shahtnykh kolodcev dlya vodosnabzheniya / B. N. ZHitenev, S. V. Andreyuk // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. – 2016. – № 2 (98). – S. 62–65.
57. ZHitenev, B. N. Sovremennoe sostoyanie problemy zagryazneniya podzemnykh vod Belarusi soedineniyami azota i puti ee resheniya / B. N. ZHitenev, S. V. Andreyuk // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2016. – № 4 (100). – S. 52–57.
58. Baitova, S. N. Monitoring soderzhaniya nitratov v pod-zemnykh vodah / S. N. Baitova, N. E. ZHuravskaya // SWorldJournal. – 2022. – № 11 (01). – S. 62–67. – DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-01-087.
59. Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else? / A. Mencio, J. Mas-Pla, N. Otero [et al.] // Science of the Total Environment. – 2016. – Vol. 539. – P. 241–251. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.151.
60. Drebot, V. V. Ocenka summarnogo riska dlya zdorov'ya cheloveka v svyazi s rasprostraneniem nitratnogo zagryazneniya gruntovykh vod v rajone ozera Poyanhu (Kitaj) / V. V. Drebot, E. A. Soldatova // Ekologiya energetiki – 2017 : trudy Mezhdunar. nauch. konf. molodykh uchenykh i specialistov, Moskva, 23–24 noyab. 2017 g. – M. : MEI, 2017. – S. 36–38.
61. Ivanov, D. O. Azotsoderzhashchie komponenty v podzemnykh vodah / D. O. Ivanov // Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala. – 2017. – № 17. – S. 197–201.
62. Monitoring zagryaznennosti nitrat-ionami podzemnykh vod territorii gorodov Sevastopolya i Bahchisaraj / I. I. Kosinova, G. A. Sigora, L. A. Nickkova [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – 2016. – № 3. – S. 123–127.
63. Izmenenie zagryaznennosti nitrat-ionami rodnikov goroda Sevastopolya / G. A. Sigora, T. V. Lyashko, L. A. Nickkova, T. YU. Homenko // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. – 2018. – № 14 (34). – S. 150–156. – DOI: 10.33075/2220-5861-2018-4-150-156.
64. Impact of agriculture and land use on nitrate contamination in groundwater and running waters in central-west Poland / A. E. Lawniczak, J. Zbierska, B. Nowak [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2016. – Vol. 188, № 172. – P. 1–17. – DOI: 10.1007/s10661-016-5167-9.
65. Hydrogeology and groundwater quality in the Nordic and Baltic countries / N. O. Kitterød, J. Kvaerner, P. Aagaard [et al.] // Hydrology Research. – 2022. – Vol. 53, Iss. 7. – P. 958–982. – DOI: 10.2166/nh.2022.018.
66. Kosinova, I. I. Sistema ekologicheskogo menedzhmenta sostoyaniya neogen-chetvertichnogo i verhnedevoevskogo vodonosnykh kompleksov territorii Lipeckoj oblasti / I. I. Kosinova, R. A. Lyapin // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya. – 2020. – № 2. – S. 83–89. – DOI: 10.17308/geology.2020.2/2862.
67. Ramalingam, S. Effect of high nitrate contamination of groundwater on human health and water quality index in semi-arid region, South India / S. Ramalingam, B. Panneerselvam, S. P. Kaliappan // Arabian Journal of Geosciences. – 2022. – Vol. 15, No. 242. – S. 1–14. – DOI: 10.1007/s12517-022-09553-x.
68. Pashkevich, V. Gidromineral'nye resursy / V. Pashkevich, O. Vasneva // Nauka i innovacii. – 2025. – № 3. – S. 11–15.

Материал поступил 06.12.2025, одобрен 20.01.2026, принят к публикации 26.01.2026