

Читать
онлайн
Read
onlineГорбанев С.А.¹, Степанян А.А.¹, Исаев Д.С.¹, Мозжухина Н.А.², Еремин Г.Б.¹,
Мясников И.О.¹

Обоснование выбора приоритетных показателей для контроля качества воды водоносных горизонтов

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;²ФБГОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 195067, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Изучение качества воды, отбираемой из водоносных горизонтов подземных водоисточников, является актуальной задачей в связи с возрастающими объёмами потребляемой подземной воды, с одной стороны, и подачей населению питьевой воды с недостаточной водоподготовкой или вообще без неё – с другой. В Ленинградской области в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения используются 1332 водоисточника, при этом вода без водоподготовки поступает населению значительного количества поселений.

Материалы и методы. Выполнены системный анализ, статистический анализ, первый этап оценки риска для здоровья населения – идентификация опасности. Проанализировано 2634 протокола лабораторных исследований (135 200 исследований) качества воды 728 подземных водоисточников Ленинградской области за 2018–2021 гг.; материалы Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга (ФИФ СГМ) (34 709 исследований) за 2009–2019 гг., отчёты о результатах поисков и оценки запасов подземных вод для водоснабжения населённых пунктов за 2003–2015 гг.; санитарно-эпидемиологические заключения о возможности использования водных объектов в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, размещённые в реестре Роспотребнадзора.

Результаты. На основании анализа результатов лабораторных исследований качества воды подземных источников, обусловленного естественными природными факторами, из различных водоносных горизонтов, эксплуатируемых на изучаемой территории, определены вещества, концентрации которых превышают предельно допустимые. В результате реализован первый этап оценки риска для здоровья – идентификация опасности с ранжированием химических веществ по индексам опасности на всех эксплуатируемых горизонтах. Даны рекомендации с целью корректировки программ социально-гигиенического мониторинга и производственного контроля качества воды подземных источников, а также совершенствования систем водоподготовки.

Ограничения исследования. В данном исследовании имелось ограничение по анализу происхождения соединений триады азота и нефтепродуктов. Кроме того, оценка риска ограничена этапом идентификации опасности, поскольку оценка экспозиции не выполнялась.

Заключение. На основе проведённого ранжирования определены вещества-канцерогены (мышьяк, бериллий, свинец, кадмий) и вещества, не обладающие канцерогенным эффектом (фторид-ион, аммоний-ион, кальций, натрий, магний, барий, нитраты, нитриты, марганец, железо), которые необходимо включить в программы производственного контроля качества подземных вод.

Ключевые слова: приоритетные вещества; качество и безопасность питьевой воды; водоносный горизонт; подземные воды; идентификация опасности

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Горбанев С.А., Степанян А.А., Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Еремин Г.Б., Мясников И.О. Обоснование выбора приоритетных показателей для контроля качества воды водоносных горизонтов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 842–849. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-842-849> <https://www.elibrary.ru/wuzoqk>

Для корреспонденции: Степанян Алекс Артурович, мл. науч. сотр. отделения гигиены питьевого водоснабжения отдела оценки риска здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: a.stepanian78@gmail.com

Участие авторов: Горбанев С.А. – концепция и дизайн исследования; Степанян А.А. – формирование содержания, статистическая обработка результатов; Исаев Д.С. – первый этап оценки риска для здоровья населения – идентификация опасности; Еремин Г.Б. – формирование содержания; Мозжухина Н.А. – проверка и редактирование текста; Мясников И.О. – сбор и анализ результатов лабораторных исследований. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 17.05.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликована: 14.09.2022

Sergei A. Gorbanev¹, Alex A. Stepanyan¹, Daniil S. Isaev¹, Natalya A. Mozhukhina²,
Gennadiy B. Yeremin¹, Igor O. Miasnikov¹

Justification of the priority indicators choice for water quality control in aquifers

¹North-West public health research center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;²North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, 195067, Russian Federation

Introduction. The study of the aquifers water quality is an urgent task due to the increasing volumes of groundwater consumed, on the one hand, and the supply of drinking water to the population with insufficient water treatment or without it at all, on the other. In the Leningrad Region, one thousand three hundred thirty two water sources are used for drinking and household water supply to the population, while water without water treatment is supplied to the population of a significant number of settlements.

Materials and methods. In this study, a systematic analysis, statistical analysis, and the first stage of health risk assessment – the identification of danger were conducted. Research materials included 2634 water quality laboratory studies protocols (135200 studies) of 728 underground water sources of the Leningrad

region for 2018–2021; data of the Federal Information Fund for Social and Hygienic Monitoring (FIF SGM) (34709 studies) for 2009–2019, reports on the results of searches and assessments of groundwater reserves for settlements water supply for 2003–2015; sanitary and epidemiological conclusions on the possibility of using water sources for drinking and household water supply, placed in the register of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing.

Results. The analysis of the laboratory examinations results of the underground water quality, due to natural factors, from various aquifers was exploited in the studied area. Substances which concentrations exceed the maximum permissible level have been identified. The first carried out stage of health risk assessment included hazard identification with ranking of chemicals by hazard indices for all operational aquifers. Recommendations are given on the adjustment of social-hygienic monitoring and industrial control programs of underground water quality, as well as on the improvement of water treatment systems.

Limitations. In this study there was a limitation on the nitrogen triad compounds origin and petroleum products analysis, in addition, the health risk assessment was limited to the hazard identification stage, due to the fact that exposure assessment was not performed.

Conclusion. Based on the ranking, there were identified carcinogenic substances as follows: arsenic, beryllium, lead, cadmium and substances that don't have a carcinogenic effect: fluoride ion, ammonium ion, calcium, sodium, barium, magnesium, nitrates, nitrites, manganese, iron, which must be included in the groundwater industrial control programs.

Keywords: priority substances; quality and safety of drinking water; aquifer; groundwater

Compliance with ethical standards. The study doesn't require submission of the biomedical ethics committee opinion or other documents.

For citation: Gorbanev S.A., Stepanyan A.A., Isaev D.S., Mozhukhina N.A., Eremin G.B., Myasnikov I.O. Justification of priority indicators the choice for water quality control in aquifers. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 842-849. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-842-849> <https://elibrary.ru/wuzokq> (in Russian)

For correspondence: Alex A. Stepanyan, junior researcher of the drinking water supply hygiene department of the public health risk assessment department, North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: a.stepanian78@gmail.com

Information about authors:

Gorbanev S.A., <https://orcid.org/0000-0002-5840-4185>
Isaev D.S., <https://orcid.org/0000-0002-9165-1399>
Yeremin G.B., <https://orcid.org/0000-0002-1629-5435>

Stepanyan A.A., <https://orcid.org/0000-0002-8153-1131>
Mozhukhina N.A., <https://orcid.org/0000-0002-8051-097X>
Myasnikov I.O., <https://orcid.org/0000-0002-4459-2066>

Contribution: Gorbanev S.A. – concept and design of the study; Stepanyan A.A. – content formation, statistical processing of results; Isaev D.S. – the first stage of public health risk assessment – hazard identification; Eremin G.B. – content formation; Mozhukhina N.A. – text verification and editing; Myasnikov I.O. – collection and analysis of the results of laboratory tests. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 17, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: September 14, 2022

Введение

В большинстве стран мира подземные воды используются в качестве основного источника питьевого водоснабжения [1–6]. В Российской Федерации в среднем доля подземных вод в балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 45% [7], при этом в Ленинградской области она существенно выше [8]. Превышения допустимых концентраций элементов в воде подземных горизонтов отмечаются в различных регионах Российской Федерации. Например, в Московской области 84% суммарного объёма водопотребления обеспечивается подземными источниками питьевого водоснабжения, вода которых имеет высокое природное содержание железа, марганца, фтора, стронция стабильного, сероводорода, повышенную жёсткость [9]. В Волгоградской области ежегодно анализировали возможное негативное влияние на показатели здоровья населения химических примесей в питьевой воде, однако статистически достоверных корреляционных связей между концентрациями вышеуказанных веществ и уровнями заболеваемости в этом регионе за последние 5 лет не установлено [10].

Ведущим источником поступления веществ в подземные воды являются горные породы [11]. Химический состав подземных вод формируется под влиянием следующих факторов [12, 13]: выщелачивание почв и горных пород; растворение минералов и пород; выпадение солей из природных растворов при изменении термодинамических условий; катионный обмен в поглощающем комплексе илов, почв, глинистых пород; диффузия и микробиологические процессы; смешение вод различного происхождения.

В связи с этим представляет интерес изучение подземных водоносных горизонтов, являющихся источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения Ленинградской области, качества воды в них, причин, определяющих формирование химического состава подземных вод.

Цель работы – обоснование выбора приоритетных показателей для совершенствования программ производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества воды водоисточников.

Материалы и методы

В настоящем исследовании проведён системный и статистический анализ и реализован первый этап оценки риска для здоровья населения – идентификация опасности. В рамках системного анализа выполнены учёт гидрогеологических особенностей Ленинградской области и гигиеническая оценка качества воды водоносных горизонтов. Статистический анализ состоял из нескольких этапов: 1) определение водоносного горизонта, вскрываемого изучаемыми скважинами; 2) вычисление суммы исследований, среднего арифметического, медианы и максимального значения показателей по определённой скважине населённого пункта в изучаемом административном районе. В целях объективности анализа значения, не имеющие предметного обоснования, «выскакивающие варианты», исключены из выборки; 3) для сравнения результатов лабораторных исследований в рамках различных систем мониторинга показатели качества воды разделены в соответствии с источником информации (табл. 1); 4) для идентификации опасности, обусловленной хроническим воздействием химических веществ, выбраны средние величины концентраций. Идентификация опасности выполнена в соответствии с требованиями «Руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»¹.

Материалами исследования являлись протоколы лабораторных исследований (2634 протокола, 135 200 исследований) качества воды используемых водоносных горизонтов 728 подземных водоисточников в 389 населённых пунктах 17 районов Ленинградской области за период 2018–2021 гг.; материалы Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга (ФИФ СГМ) (34 709 исследований) за период 2009–2019 гг., отчёты о результатах

¹ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. Утверждено и введено в действие первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 5 марта 2004 г.

Таблица 1 / Table 1

Превышающие ПДК показатели качества воды в скважинах, вскрывающих основные водоносные горизонты и комплексы
Water quality indicators exceeding the MPC in wells opening the main aquifers and complexes

Горизонты и приуроченные к ним воды Aquifers and associated waters	Данные производственного контроля Industrial inspection data	Данные территориальных фондов геологической информации Data from territorial funds of geological information	Данные Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга Federal Information Fund for Social and Hygienic Monitoring data
Воды трещиноватых пород архей-протерозоя Waters of fractured Archaean-Proterozoic rocks (AR-PR)	Se (0.0029/0.002/ 0.02); Ba (0.25/0.1/2.5); Cd (0.007/0.0001/ 0.131) Al (0.08/0.068/ 0.28); Mn (0.242/0.16/0.73); нефтепродукты / oil products (0.04/0.03/ 0.13); F (1.3/1.5/2.6); NH ₄ (0.74/0.6/2.6); Fe (2.0/1.2/8.4); Be (0.0003/0.0001/0.0017); B (0.15/0.1/0.7); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (2/1.5/6.8)	Ba (0.52/0.15/1.72); Mn (0.243/0.145/0.589); F (1.1/0.4/3.1); Fe (1.2/1.23/2.32)	Mn (0.174/0.12/0.6); Fe (0.6/0.46/2.78)
Воды карбонатных отложений Carbon sediments waters (C)	Pb (0.007/0.001/0.02); Al (0.061/0.025/1.1); As (0.004/0.005/0.019); Cr (0.01/0.002/0.1); Mn (0.101/0.073/0.37); нефтепродукты / oil products (0.02/0.02/0.5); общая жёсткость / total hardness (4.9/4.9/9.5); Fe (1.23/1.11/9.2); B (0.2/0.05/2.1); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (3.7/1.7/39)	Al (0.05/0.01/0.48); Mn (0.061/0.035/0.32); Fe (1.76/0.49/6.64)	Al (0.053/0.027/0.31); Mn (0.038/0.017/0.164); Fe (0.93/0.8/3.2); B (0.12/0.07/0.51)
Воды девонских отложений Devonian sediment waters (D)	Ba (0.67/0.49/3.99); Pb (0.006/0.001/0.02); Al (0.047/0.01/2.4); Mn (0.042/0.019/0.34); SO ₄ (25.4/6.4/670); нефтепродукты / oil products (0.08/0.03/0.77); Cl (18/4/370); общая жёсткость / total hardness (4.2/4.1/14.5); NO ₃ (4.6/0.2/272.3); NO ₂ (0.63/0.2/15); F (0.6/0.4/1.7); NH ₄ (0.48/0.5/2.3); Na (23.8/12.7/273.9); Mg (21/19.9/58.5); Fe (0.96/0.7/8.67); H ₂ S (0.009/0.004/0.1); Sr (0.86/0.25/133.2); B (0.26/0.19/4.1); Ni (0.004/0.001/0.024); Hg (0.000043/0.00001/0.001); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (1/0.8/6.1); сухой остаток / total dissolved solids (420/404/1170)	Ba (0.51/0.37/1.76); Pb (0.002/0.001/0.02); Mn (0.067/0.029/0.52); Cl (41/4/410); F (0.6/0.5/2); Na (32.6/12.5/249.9); Fe (1.22/0.34/4.36); B (0.32/0.32/0.9); Сухой остаток / total dissolved solids (368/257/1266)	Ba (0.62/0.3/5.2); Pb (0.001/0.001/0.02); Al (0.038/0.02/2.53); Mn (0.036/0.02/0.62); F (0.5/0.4/2); NH ₄ (0.59/0.25/9.7); Na (42.1/23/290.4); Fe (0.64/0.33/5.9); H ₂ S (5.45/0.02/16.3); B (0.31/0.35/0.72)
Воды ордовикских отложений Ordovician sediments waters (O)	Ba (0.86/0.39/3.24); Al (0.032/0.01/0.42); As (0.005/0.005/0.016); Mn (0.031/0.01/0.6); нефтепродукты / oil products (0.08/0.03/5.4); общая жёсткость / total hardness (1.5/0.5/24.5); NO ₃ (16.3/18.7/61); NO ₂ (0.32/0.2/3.4); Na (46.7/18.9/229); Mg (30.3/30/69); Fe (0.32/0.08/7); B (0.3/0.2/1.3); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (2/2.1/8.5); сухой остаток / total dissolved solids (486/478/1023)	Ba (0.38/0.09/2.22); As (0.005/0.005/0.018); Mn (0.023/0.004/0.248); SO ₄ (48.6/23/690); NO ₃ (13.1/0.4/93); NH ₄ (1.55/1.55/3); Na (35.6/9.3/259); Mg (32.9/35.5/54.8); Fe (0.55/0.13/3.81); B (0.18/0.04/1.3); сухой остаток / total dissolved solids (436/362/1610)	Ba (0.18/0.04/1.96); Mn (0.013/0.005/0.12); NO ₃ (5.9/3.4/48.5); F (0.1/0.046/2); NH ₄ (0.27/0.15/2.46); Fe (0.23/0.07/2.05); 2,4-Д кислота, её соли и эфиры / 2,4-D acid. its salts and esters (0.005/0.0001/0.059); B (0.03/0/0.82)

Продолжение Таблицы 1 на стр. 845.

Продолжение Таблицы 1. Начало на стр. 844.

Горизонты и приуроченные к ним воды Aquifers and associated waters	Данные производственного контроля Industrial inspection data	Данные территориальных фондов геологической информации Data from territorial funds of geological information	Данные Федерального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга Federal Information Fund for Social and Hygienic Monitoring data
Воды четвертичных отложений Quaternary sediments waters (Q)	Mn (1.36/0.33/3.7); F (0.9/0.3/ 2.8); NH ₄ (1.6/0.5/ 6.4); Fe (10.43/2.9/31); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (2.5/2.3/ 5.5)	Cd (0.0004/0.0001/ 0.0011); Mn (0.16/0.14/0.35); Cl (543/6/ 1620); Na (376.5/5/1121.8); Fe (1.06/0.3/2.85); B (0.41/0.01/ 1.22); сухой остаток / total dissolved solids (1155/102/3320);	Mn (0.87/0.29/2.32); Fe (6.4/1.29/18.9)
Воды вендских отложений Vendian sediments waters (V)	Ba (0.46/0.21/ 2.47); Al (0.031/0.026/ 0.38); Mn (0.147/0.1/1.12); нефтепродукты / oil products (0.03/0.02/ 0.88); Cl (48/14/ 590); F (0.9/0.7/ 4.3); Na (59.8/27.4/ 430); Fe (0.55/0.17/8.58); H ₂ S (0.009/0.002/ 0.24); Be (0.015/0.0001/ 1.58); B (0.38/0.21/ 2.1); Ni (0.002/0.001/ 0.13); Hg (0.00015/0.00001/ 0.01); сухой остаток / total dissolved solids (243/165/ 1306)	Cl (170/92/ 550); F (0.7/0.4/ 1.7); Na (166.1/120.2/ 400); Fe (0.23/0.13/ 1.04); Be (0.0001/0.0001/ 0.0004); B (0.62/0.54/1.26); сухой остаток / total dissolved solids (493/340/ 1240)	Ba (4/4/4); Mn (0.088/0.037/ 0.8); Cl (81/16/ 1360); Fe (0.47/0.18/10.2); H ₂ S (0.56/0.009/10)
Воды нижнекембрийских отложений Lower Cambrian deposits waters (E)	Mn (0.11/0.06/0.32); нефтепродукты / oil products (0.05/0.03/ 0.29); Fe (1.11/0.89/2.9); B (1.98/2.08/2.6); Окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (3.4/1.5/7.7)	Fe (1.02/1.02/1.55) B (0.79/0.79/1.46)	F (0.2/0.1/ 1.9)
Воды трещиноватых пород раннего протерозоя Waters of the early Proterozoic fractured rocks (PR1)	B (0.95/0.84/1.17)	Mn (0.45/0.45/0.52); Cl (378/378/740); Na (288.8/288.8/ 456.1); Mg (37.5/37.5/ 73.1); Fe (0.61/0.61/1.17); B (0.67/0.67/0.67); сухой остаток / total dissolved solids (1038/1038/1754)	—
Воды кембро-ордовикских отложений Cambro-Ordovician deposits waters (E-O)	Ba (0.5/0.34/ 1.91); Al (0.071/0.04/ 0.32); Cr (0.021/0.01/ 0.098); Mn (0.17/0.03/2); нефтепродукты / oil products (0.03/0.02/ 0.38); общая жёсткость / total hardness (3.7/3.1/ 11.1); Mg (24.6/19.7/ 71); Fe (2.14/0.2/27.7); окисляемость перманганатная / oxidizability permanganate (1.7/1.9/ 5.2)	Ba (0.39/0.11/ 1.49); Mo (0.018/0.002/ 0.09); Mn (0.177/0.04/0.86); NH ₄ (2.3/2.3/2.3); Fe (2.07/1.34/6.6); B (0.36/0.21/ 0.89); Ni (0.012/0.001/ 0.067)	NO ₂ (0.28/0.04/ 3.9); Fe (0.75/0.56/2.5); B (0.22/0.01/ 0.85)

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК.

Note: Values exceeding MPC are in bold.

поисков и оценки запасов подземных вод для водоснабжения населённых пунктов за период 2003–2015 гг.; санитарно-эпидемиологические заключения о возможности использования водных объектов в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, размещённые в реестре Роспотребнадзора о соответствии (несоответствии) видов деятельности (работ, услуг) требованиям санитарно-эпидемиологических правил и нормативов (166).

Результаты

Территория Ленинградской области расположена в пределах двух резко различающихся в гидрогеологическом отношении структур. На севере области это южная часть

Балтийского гидрогеологического массива с трещинными и трещинно-жильными подземными водами преимущественно в древних кристаллических породах. Южнее основная часть Ленинградской области находится в пределах краевой части Московского артезианского бассейна с пластовыми напорными водами в образованиях от карбона до рифея [3]. В других работах эта гидрогеологическая структура носит название Ленинградского артезианского бассейна [4].

На территории Ленинградской области для хозяйственно-бытовых и питьевых нужд активно используются 9 водоносных горизонтов и комплексов. Как показывает анализ данных территориальных фондов геологической информации Ленинградской области, значительная изменчивость геологического строения и гидрогеологических

условий является причиной разнообразия макро- и микрокомпонентного состава подземных вод [6].

Формирование химического состава подземных вод в природных условиях определяется общими геолого-тектоническими, природными, ландшафтно-климатическими, литолого-фациальными условиями, а также гидрохимической характеристикой водоносного горизонта, его защищённостью и санитарно-техническим состоянием водозаборных скважин [7, 8]. Для основных водоносных формаций рассматриваемой территории характерна низкая концентрация бериллия, никеля и некоторых других компонентов. Концентрации свинца, меди, цинка, молибдена колеблются на уровне фона и не достигают ПДК. Практически во всех выходящих на дочетвертичную поверхность водоносных горизонтах – от каменноугольных до вендских – отмечаются высокие концентрации содержания железа (выше ПДК) [4]. Геологическое строение и гидрогеологические условия определяют то, что естественный состав подземных вод на территории Ленинградской области может иметь ряд отклонений от гигиенических требований, установленных нормативными документами, регламентирующими качество вод для источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. Основными проблемами являются избыточное содержание в воде многих водозаборов железа, марганца, бария, бора и ряда других компонентов [9]. Использование для питьевого водоснабжения таких вод без предварительной водоподготовки или с водоподготовкой, не учитывающей данные особенности, может приводить к формированию риска для здоровья населения и быть причиной неинфекционной заболеваемости [10].

В табл. 1 приведены системы мониторинга и показатели, превышающие 1 ПДК, которые определяют качество подземных вод основных водоносных горизонтов на территории Ленинградской области, с указанием среднего арифметического, медианы и максимального значений.

В соответствии с материалами научных исследований, выполненных гидрогеологами в 2003–2005 гг., превышения по макрокомпонентам либо не выявлялись вообще (воды трещиноватых пород архей-протерозоя (AR-PR), воды карбоновых отложений (С), воды нижнекембрийских отложений (Е)), либо они выявлены только в отдельных пробах, что не нашло отражения в средних значениях. Для вод девонских отложений (D) отмечаются превышения по натрию, хлору, сухому остатку, в водах ордовикских отложений (O) – по сульфатам, содержанию ионов аммония, натрию, сухому остатку. Вместе с тем в нескольких горизонтах превышения по ряду макрокомпонентов нашли отражение в средних значениях: в водах четвертичных отложений (Q) по натрию, сухому остатку; в водах трещиноватых пород раннего протерозоя (PR1) по хлориду, сухому остатку; в водах кембро-ордовикских отложений (Е-О) – ионам аммония. По микрокомпонентам превышение по средним значениям отмечалось только по железу (воды карбоновых отложений (С), воды ордовикских отложений (O), воды девонских отложений (D)), по железу и марганцу (воды трещиноватых пород архей-протерозоя (AR-PR), воды четвертичных отложений (Q)), по бору (воды вендских отложений (V)), по железу и бору (воды нижнекембрийских отложений (Е)), железу, бору, марганцу (воды трещиноватых пород раннего протерозоя (PR1)).

Анализ результатов производственного контроля (ПК) выявил значительно больше особенностей отдельных горизонтов, в которых выявлены превышения средних значений: для вод трещиноватых пород архей-протерозоя (AR-PR) – кадмия и бериллия, вод ордовикских отложений (O) – бария, вод вендских отложений (V) – бериллия, вод трещиноватых пород раннего протерозоя (PR1), вод нижнекембрийских отложений (Е) – бора. Вместе с тем в ряде случаев ПК вообще не показал наличия превышений, например, по железу и марганцу для воды трещиноватых пород раннего протерозоя (PR1).

Следует отметить, что материалы, представленные в табл. 1, проанализированы не только в разрезе систем мониторинга, но и в их совокупности в связи с тем, что, например, к результатам ПК отнесён значительный объём расширенных исследований, выполненных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области» в рамках договоров с водоснабжающими организациями. Результаты подобных исследований широко используются при выполнении проектов по оценке запасов подземных вод.

Сравнение полученных результатов с данными ФИФ СГМ выявило, что по данным СГМ обнаружено только превышение средних значений марганца и железа. В целом анализ результатов СГМ показал их сравнительно невысокую информативность.

В реестре заключений Роспотребнадзора имеется 166 санитарно-эпидемиологических заключений о возможности использования водного объекта в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения. Из них 142 подземных источника водоснабжения соответствуют нормативам, а 24 не соответствуют. Согласно сведениям, полученным из заключений, водоподготовка с обеззараживанием имеется на 13 подземных водоисточниках, только водоподготовка – на 8, обеззараживание – на 7. Без водоподготовки и обеззараживания вода подаётся населению на 120 водоисточниках. На основе полученных результатов лабораторных исследований качества воды подземных источников Ленинградской области проведена оценка риска для здоровья населения [14]. В перечень оцениваемых веществ вошли все вещества, по которым проводились лабораторные исследования, кроме обобщённых показателей. Ввиду большого количества неопределённостей, связанных с оценкой экспозиции [15–17], затруднительно провести оценку риска в полном объёме, в связи с чем выполнена только идентификация опасности. В ходе идентификации опасности проводили ранжирование химических веществ по индексам опасности. Ранжирование произведено по всем горизонтам во всех районах Ленинградской области.

В табл. 2 указаны вещества, по которым проводили ранжирование, указаны ПДК, номер CAS, референтная доза, фактор канцерогенного потенциала, классы канцерогенности по МАИР² и критические органы и системы.

В химическом составе подземных вод определяли 9 канцерогенных веществ: кадмий, свинец, кобальт, мышьяк, гамма-ГХЦГ (линдан), 2,4-Д кислоту, её соли и эфиры, бериллий, никель, формальдегид. Для 6 из них (кроме никеля, кобальта и формальдегида) разработаны факторы канцерогенного потенциала при пероральном поступлении. Полученные результаты ранжирования по индексу канцерогенной опасности идентичны по всей области. Наибольший вклад в суммарный индекс канцерогенной опасности вносят мышьяк, бериллий, свинец, кадмий. На всей территории Ленинградской области вклад мышьяка составляет более 90%. Полученные значения объясняются нижним пределом обнаружения лабораторных методов исследования. Методы определения мышьяка подходят для гигиенической оценки, однако на уровне предела обнаружения при расчёте канцерогенных рисков дают недопустимые значения.

Ранжирование по индексу неканцерогенной опасности проведено для 29 веществ. Следующие вещества характеризуются наибольшими вкладами в суммарный индекс неканцерогенной опасности: мышьяк, фторид-ион, кальций, натрий, барий, магний, нитраты, марганец, железо, нитриты.

Количество веществ с однонаправленным неканцерогенным воздействием на критические органы и системы выглядит следующим образом: почки – действуют 11 веществ,

² МАИР – Международное агентство по изучению рака.

Таблица 2 / Table 2

Перечень исследуемых веществ

List of studied substances

CAS	Наименование вещества Substance name	ПДК MPC	RFD	SFO	МАИР IARC	Критические органы и системы* Critical organs and systems*
7782-49-2	Селен / Selenium	0.01	0.005	—	3	Кожа, печень, волосы, селезёнка / skin, liver, hair, spleen
7440-39-3	Барий / Barium	0.7	0.07	—	—	Почки, сердечно-сосудистая система (ССС) Kidneys, cardiovascular system
7440-43-9	Кадмий / Cadmium	0.001	0.0005	0.38	1	Почки, гормональная система / Kidneys, hormonal system
7439-92-1	Свинец / Lead metal	0.01	0.0035	0.047	2B	ЦНС, периферическая нервная система (ПНС), кровь, биохимия крови, развитие, репродуктивная и гормональная системы Central nervous system (CNS), peripheral nervous system (PNS), blood, blood chemistry, development, reproductive system, hormonal system
7429-90-5	Алюминий / Aluminum	0.2	1	—	—	ЦНС / CNS
7440-48-4	Кобальт / Cobalt	0.1	0.02	—	2A	Кровь / blood
7440-38-2	Мышьяк / Arsenic	0.01	0.0003	1.5	1	Кожа, ЦНС, ПНС, CCC, иммунная система, гормональная система (диабет), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) Skin, CNS, PNS, cardiovascular system, immune system, hormonal system (diabetes), gastrointestinal tract (GIT)
7440-47-3	Хром / Chromium	0.05	0.005	—	3	Печень, почки, ЖКТ, слизистые / Liver, kidneys, GIT, mucous membranes
7440-50-8	Медь / Copper	1	0.019	—	—	ЖКТ, печень / GIT, liver
7440-66-6	Цинк / Zinc	5	0.3	—	—	Кровь, биохимия крови (супероксиддисмутаза) Blood, blood chemistry (superoxidedismutase)
7439-98-7	Молибден / Molybdenum	0.07	0.005	—	—	Почки / kidneys
7439-96-5	Марганец / Manganese	0.1	0.14	—	—	ЦНС, кровь / CNS, blood
	Нефтепродукты / Oilproducts	0.1	0.03	—	—	Почки / kidneys
14797-55-8	Нитраты / Nitrates	45	1.6	—	—	Кровь (MetHb), CCC / cardiovascular system / blood (MetHb)
14797-65-0	Нитриты / Nitrites	3	0.1	—	—	Кровь (MetHb) / blood (MetHb)
16984-48-8	Фторид-ион / Fluoride ion	1.5	0.06	—	3	Зубы, костная система / teeth, bone system
7664-41-7	Аммоний-ион Ammonia	2	0.98	—	—	ЦНС, ПНС, дыхательная система, печень, почки, селезёнка, ЖКТ, углеводный обмен, кровь, кожа, глаза; биохимия крови CNS, PNS, liver, kidneys, spleen, GIT, carbohydrate metabolism, blood, skin, eyes, blood chemistry
7440-23-5	Натрий / Sodium	200	34.3	—	—	ССС / cardiovascular system
7439-95-4	Магний / Magnesium	50	11	—	—	ЦНС, дыхательная система, CCC, иммунная системы, ЖКТ, печень, почки CNS, respiratory system, cardiovascular system, immune system, GIT, liver, kidneys
7440-70-2	Кальций / Calcium		41.4	—	—	Почки, биохимия крови (алкалоз, гиперкальциемия) Kidneys, blood chemistry (alkalosis, hypercalcemia)
7439-89-6	Железо / Iron	0.3	0.3	—	—	Слизистые, кожа, кровь, иммунная система Mucous membranes, skin, blood, immune system
58-89-9	Гамма-ГХЦГ (линдан) Lindane	0.004	0.0003	1.3	1	Печень, почки, гормональная система Liver, kidneys, hormonal system
94-75-7	2,4-Д кислота, её соли и эфиры 2,4-dichlorophenoxyacetic acid	0.1	0.01	0.019	2B	Печень, почки, кровь, гормональная система Liver, kidneys, hormonal system, blood
7783-06-4	Сероводород, сульфиды / Dihydrogensulfide	0.05	0.003	—	—	ЖКТ / GIT
7440-41-7	Бериллий / Beryllium	0.0002	0.002	4.3	1	ЖКТ, масса тела / GIT, body weight
7440-24-6	Стронций / Strontium	7	0.6	—	—	Костная система / bone system
7440-42-8	Бор / Boron	0.5	0.2	—	—	Репродуктивная система (семенники), ЖКТ, развитие (эмбриотоксичность) Reproductive system (testes), GIT, development (embryotoxic)
7440-02-0	Никель / Nickel, metallic	0.02	0.02	—	2B	Печень, CCC, ЖКТ, кровь, масса тела Liver, cardiovascular system, GIT, blood, body weight
50-00-0	Формальдегид Formaldehyde	0.05	0.2	—	1	Печень, CCC, ЖКТ, кровь, масса тела Liver, cardiovascular system, GIT, blood, body weight
7439-97-6	Ртуть / Mercury	0.0005	0.0003	—	3	Иммунная и репродуктивная системы, почки, ЦНС, гормональная система Immune system, reproductive system, kidneys, CNS, hormonal system

Примечание. * — согласно Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» и Федеральному регистру потенциально опасных химических и биологических веществ.

Note. * — in accordance with P 2.1.10.1920-04 "Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemicals that pollute the environment" and the Federal Register of Potentially Hazardous Chemical and Biological Substances.

кровь и ЖКТ – 10 веществ, печень – 9 веществ, ЦНС – 8 веществ, ССС – 6 веществ, гормональная система, биохимия крови – 5 веществ. На остальные критические органы и системы действуют менее 5 веществ.

Обсуждение

Качество воды подземных источников Ленинградской области в значительной степени определяется природными условиями, наибольшее влияние на которые оказывает химический состав водовмещающих пород и гидрогеохимические параметры, такие как залегание водоносных горизонтов, движение подземных вод и миграция в них отдельных элементов. Значительную роль в формировании химического состава подземных вод играет их генезис [11, 12, 18]. Концентрации Pb, Cd, As, Ni, Be, обнаруживаемые в отдельных пробах воды и превышающие ПДК, в целом в подземных водах региона незначительны, сложны для однозначной интерпретации [19–24] и иногда могут быть связаны с аналитическими ошибками. Методы определения мышьяка подходят для гигиенической оценки, однако на уровне предела обнаружения при расчёте канцерогенных рисков могут давать недопустимые значения.

Как уже упоминалось выше, в данном исследовании имелось ограничение по анализу происхождения соединений триады азота и нефтепродуктов, кроме этого, оценка риска ограничена этапом идентификации опасности, поскольку оценка экспозиции не выполнялась.

Заключение

Анализ качества воды подземных горизонтов показывает значительное количество веществ, в отношении которых должен быть организован производственный контроль и социально-гигиенический мониторинг. Прежде всего это вещества, значения которых превышают установленные ПДК, а также вещества 1–2-го классов опасности, ПДК которых превышают 0,1 долей ПДК, и вещества 3–4-го классов опасности, значения которых превышают 0,5 долей ПДК.

Обращая на себя внимание относительно небольшое количество санитарно-эпидемиологических заключений о возможности использования водного объекта в целях питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, и эта работа должна быть активизирована. Многие водоисточники, подающие населению питьевую воду, имеют превышения ПДК отдельных веществ при отсутствии системы дополнительной водоподготовки, что требует принятия определённых решений в целях снижения риска для здоровья населения, обусловленного водным фактором.

На основе проведённого ранжирования в рамках идентификации опасности определены вещества-канцерогены (мышьяк, бериллий, свинец, кадмий) и вещества, не обладающие канцерогенным эффектом (фторид-ион, аммоний-ион, кальций, натрий, барий, магний, нитраты, нитриты, марганец, железо), которые необходимо включать в программы производственного контроля качества вод подземных источников.

Литература

(п.п. 1–6, 11–13, 21–24 см. References)

7. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». М.; 2018.
8. Мельцер А.В., Горбанев С.А., Ерастова Н.В., Новикова Ю.А., Акулов Л.С. Риск-ориентированный подход к ранжированию водопроводных станций Ленинградской области. *Профилактическая медицина*. 2016; (1): 5–10.
9. Сеницына О.О., Турбинский В.В., Гильденскиольд О.А., Калькаев М.В. Научное обоснование методологии ранжирования подземных источников централизованного питьевого водоснабжения Московской области по степени опасности неблагоприятного воздействия химических и биологических компонентов воды на здоровье человека. В кн.: *Сысинские чтения – 2021: Материалы II Национального конгресса с международным участием по экологии человека, гигиене и медицине окружающей среды*. М.; 2021: 392–6.
10. Князев Д.К. О некоторых результатах мониторинга качества питьевой воды в рамках социально-гигиенического мониторинга на территории Волгоградской области. В кн.: *Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения»*. Пермь: Книжный формат; 2015.
11. Сеницына О.О., Турбинский В.В. О научном гигиеническом обеспечении Водной стратегии Российской Федерации (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 923–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-923-928>
12. Розенталь О.М., Александровская Л.Н. Риск-ориентированный подход к оценке качества воды источника питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(5): 563–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-563-569>
13. Новиков С.М. Некоторые проблемные вопросы современной методологии оценки риска здоровью (Отклик на статью: Розенталь О.М., Александровская Л.Н. Риск-ориентированный подход к оценке качества воды источника питьевого водоснабжения). *Гигиена и санитария*. 2019; 98(5): 570–2. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-570-572>
14. Рахманин Ю.А., Розенталь О.И. О повышении достоверности гигиенической оценки качества воды природных источников питьевого водоснабжения. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1198–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1198-1202>
15. ВОЗ. Руководство по обеспечению качества питьевой воды; 2017.
16. Веницианов Е.В., Лепехин А.П. *Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах*. Екатеринбург; 2002.
17. Егорова Н.А., Букшук А.А., Красовский Г.Н. Гигиеническая оценка продуктов хлорирования питьевой воды с учетом множественности путей поступления в организм. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(2): 18–24.

References

1. Smerdon B.D., Ransley T.R., Radke B.M., Kellett J.R. Water resource assessment for the great artesian basin. A report to the Australian Government from the CSIRO Great Artesian Basin Water Resource Assessment (CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Australia). Australia: CSIRO; 2012. <https://doi.org/10.4225/08/584c45a39e1b5>
2. Hiscock K.M. Groundwater in the 21st century – meeting the challenges. In: Jones J.A., ed. *Sustaining Groundwater Resources: a Critical Element in the Global Water Crisis*. Heidelberg: Springer; 2011: 207–25.
3. Danielopol D.L., Griebler C., Gunatilaka A., Notenboom J. Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environ. Conservation*. 2003; 30(2): 104–30.
4. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Groundwater resources in Germany; 2007. Available at: https://www.bgr.bund.de/nn_322854/DE/Themen/Wasser/grundwasser_deutschland.html (in Deutsch)
5. Eckstein G. A hydrogeological perspective of the status of ground water resources under the UN Watercourse Convention. *Columbia J. Environ. Law*. 2005; 30: 525–64.
6. WHO. Guidelines for drinking-water quality. Geneva; 2017. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/
7. State Report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2017». Moscow; 2018. (in Russian)
8. Meltser A.V., Gorbanev S.A., Erastova N.V., Novikova Yu.A., Akulov L.S. Risk-oriented approach to ranking of waterworks of the Leningrad region. *Profilakticheskaya meditsina*. 2016; (1): 5–11. (in Russian)
9. Sinititsyna O.O., Turbinskiy V.V., Gil'denskiol'd O.A., Kal'kaev M.V. Scientific substantiation of the methodology for ranking underground sources of centralized drinking water supply in the Moscow region according to the degree of danger of adverse effects of chemical and biological components of water on human health. In: *Sysin Readings – 2021: Proceedings of the II National Congress with International Participation on Human Ecology, Hygiene and Environmental Medicine [Sysin'skie chteniya – 2021: Materialy II Nacional'nogo kongressa s mezhdunarodnym uchastiem po ekologii cheloveka, gigiene i meditsine okruzhayushchey sredy]*. Moscow; 2021: 392–6. (in Russian)
10. Knyazev D.K. About some results of monitoring the quality of drinking water in the framework of social and hygienic monitoring in the Volgograd region. In: *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Internet Conference of Young Scientists and Specialists of Rosпотребнадзор «Fundamental and applied aspects of public health risk analysis» [Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov Rosпотребнадзора «Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'yu naseleniya»]*. Perm: Knizhnyy format; 2015. (in Russian)

Original article

11. Schmolli O.G., ed. *Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking Water Sources*. World Health Organization; 2006.
12. Threats to the Quality of Groundwater Resources. In: Scozzari A., Dotsika E., eds. *Prevention and Control*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 2016.
13. WHO. Selenium in Drinking-water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva; 2003. Available at: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/selenium.pdf
14. Sinitsyna O.O., Turbinskiy V.V. On the hygienic scientific provision of the water strategy of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 923–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-923-928> (in Russian)
15. Rozental O.M., Aleksandrovskaia L.N. Risk-oriented approach to the quality assessment of water sources of drinking water supply. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(5): 563–9. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-563-569> (in Russian)
16. Novikov S.M. Some problem issues of the modern methodology of health risk assessment (response to the article: Rosenthal O.M., Aleksandrovskaia L.N. Risk-oriented approach to the quality assessment of water sources of drinking water supply). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(5): 570–2. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-570-572> (in Russian)
17. Rakhmanin Yu.A., Rozental' O.I. On elevating the reliability of the hygienic assessment of water quality of natural sources of drinking water supply. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1198–202. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1198-1202> (in Russian)
18. WHO. Guidelines for ensuring the quality of drinking water; 2017. (in Russian)
19. Venitsianov E.V., Lepekhin A.P. *Physico-Chemical Bases of Modeling Migration and Transformation of Heavy Metals in Natural Waters [Fiziko-khimicheskie osnovy modelirovaniya migratsii i transformatsii tyazhelykh metallov v prirodnykh vodakh]*. Ekaterinburg; 2002. (in Russian)
20. Egorova N.A., Bukshuk A.A., Krasovskiy G.N. Hygienic assessment of drinking water chlorination by-products in view of multiroute exposure. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2013; 92(2): 18–24. (in Russian)
21. U.S. Environmental Protection Agency. Coal Combustion Waste Damage Case Assessments. Washington, D.C.: USEPA; 2007. Available at: https://graphics8.nytimes.com/packages/pdf/national/07sludge_EPA.pdf
22. Smedley P.L., Kinniburgh D.G. *Source and behaviour of arsenic in natural waters*. British Geological Survey. Wallingford; 2001.
23. Smedley P.L., Kinniburgh D.G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Appl. Geochem*. 2002; 17(5): 517–68.
24. Karro E., Marandi A., Vaikmae R. The origin of increased salinity in the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, Northern Estonia. *Hydrogeol. J.* 2004; 12(4): 424–35. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0339-z>