



УДК 556.114.6 (571.5)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.3>

Нитратное и аммонийное загрязнение грунтовых вод в пос. Листвянка на оз. Байкал

Л. П. Алексеева, С. В. Алексеев*

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Представлены результаты семилетнего мониторинга химического состава и степени загрязнения подземных вод пос. Листвянка, которые используются населением для питьевых и технических нужд, а также вод ручьев, дренающих пади и распадки. Установлен общий гидрогеохимический фон в поселке, который формируют грунтовые воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с минерализацией 120–450 мг/дм³ и величиной рН, близкой к нейтральной. Выявлено, что качество подземных вод частных скважин и колодцев – в целом удовлетворительное, содержание всех нормируемых компонентов в питьевых подземных водах в основном не превышает предельно допустимой концентрации. В нескольких колодцах и скважинах зафиксировано повышенное содержание в воде нитратов, аммония. Опробование этих водопунктов в течение 2016–2022 гг. показало различное поведение одного из загрязнителей – уменьшение содержания нитратов либо рост их концентрации год от года. Установлено, что загрязнение грунтовых вод произошло в результате утечек бытовых стоков из неправильно оборудованных септиков близрасположенных гостиничных комплексов; самоочищение подземных вод происходит в случае ликвидации источника поллютантов или загрязнение становится устойчивым при их дальнейшем поступлении в водоносный горизонт; концентрации азотосодержащих соединений в поверхностных водах не превышают гигиенических нормативных показателей.

Ключевые слова: подземные и поверхностные воды, химический состав, загрязнение, нитраты, мониторинг, водоснабжение.

Благодарности: Научно-исследовательские работы выполнены в рамках проекта № 075-15-2020-787/8 «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории». Для выполнения анализов проб воды использовалось оборудование и инфраструктура ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (грант № 075-15-2021-682).

Для цитирования: Алексеева Л. П., Алексеев С. В. Нитратное и аммонийное загрязнение грунтовых вод в пос. Листвянка на оз. Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 46. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.3>

Original article

Nitrate and Ammonium Contamination of Groundwater in the Listvyanka Settlement on Lake Baikal

L. P. Alexeeva, S. V. Alexeev*

Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

© Алексеева Л. П., Алексеев С. В., 2023

* Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

Abstract. The article presents the results of seven years monitoring of the chemical composition and of pollution degree of groundwater in the Listvyanka settlement, which are used by the population for drinking and technical needs, as well as the surface waters of the local streams. Water sampling was carried out annually (summer or autumn). The general hydrogeochemical background in the settlement has been established, which is formed by groundwater of hydrocarbonate magnesium-calcium composition with a salinity of 120–450 mg/L and a pH value close to neutral. The quality of groundwater from private wells and boreholes is generally satisfactory; the content of all regulated components in drinking groundwater generally does not exceed the maximum permissible concentration. At the same time, in several wells and boreholes, increased levels of nitrates and ammonium in the water were recorded. Testing of these water points during 2016–2022 showed different behavior of one of the pollutants (NO_3^-), i.e. either a decrease in nitrate content or an increase in their concentration from year to year. It was established that groundwater contamination occurred as a result of leaks of domestic wastewater from improperly equipped septic tanks near located hotel complexes. Self-purification of groundwater occurs when the source of pollutants is eliminated or pollution becomes stable with their further influx into the aquifer. Concentrations of nitrogen-containing compounds of surface waters do not exceed hygienic standards.

Keywords: groundwater, surface water, chemical composition, nitrates, monitoring, water supply.

For citation: Alexeeva L.P., Alexeev S.V. Nitrate and Ammonium Contamination of Groundwater in the Listvyanka Settlement on Lake Baikal. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 46, pp. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.3> (in Russian)

Введение

Техногенное воздействие на воды земных недр сказывается как на состоянии биосферы, жизнеобеспечении человека, так и на социальной обстановке общества. Необходимое для жизнедеятельности человека воздействие на различные компоненты подземной гидросферы приводит к изменению их количественных и качественных параметров. Регулирование эколого-гидрогеологического равновесия следует выполнять на основе комплексного подхода, который направлен на предотвращение загрязнения, ликвидацию его последствий (в случае попадания загрязнения в водоносный пласт) и улучшение качества подземных вод для их эффективного использования.

Подземные воды по сравнению с поверхностными в целом лучше защищены от загрязнения. Грунтовые воды формируют первый от поверхности Земли водоносный горизонт. Не имея водоупорной кровли, они защищены в меньшей степени, чем подземные воды более глубокого залегания. На грунтовые воды приходится основная часть загрязнений с поверхности, которые проникают в них за сравнительно короткое время, не превышающее нескольких месяцев. Из грунтовых вод загрязнения могут поступать и в более глубокие напорные и безнапорные водоносные горизонты. Опасность техногенного воздействия на подземные воды значительно выше, чем на поверхностные, поскольку темп водообмена подземной гидросферы многократно меньше, для его восстановления требуется гораздо больше времени. Загрязнение подземных вод в результате активной антропогенной деятельности (интенсивного использования удобрений и пестицидов, вредных выбросов в атмосферу промышленными предприятиями, развития животноводства и т. д.) является широко распространенной проблемой в большинстве сельских и сельскохозяйственных регионов многих стран мира [Temporal variability of ... , 2001; Ammonia in the atmosphere ... , 2013; Origin and fate

of ... , 2013; Rapid ecological change ... , 2016; Mekala, Nambi, 2017, Nitrate distribution under ... , 2020; Hydrogeochemical insights into ... , 2022; и др.].

Южная часть Байкальского региона не является исключением, поскольку в последние годы грандиозное развитие туристического бизнеса на побережье Байкала приводит к увеличению антропогенной нагрузки на экосистему озера и его прибрежные территории. Качественное экологическое состояние грунтовых вод и притоков оз. Байкал, которые формируют основную приходную часть химического баланса этого уникального водоема, приобрело государственный статус.

Основой управления изменениями состояния подземной гидросферы служит мониторинг химического состава поверхностных и подземных вод. Систематический мониторинг качества подземных (в основном грунтовых) вод организован Институтом земной коры СО РАН и проводился в 2016–2022 гг. на модельном полигоне, включающем пос. Листвянка и прилегающую прибрежную зону оз. Байкал (рис. 1).

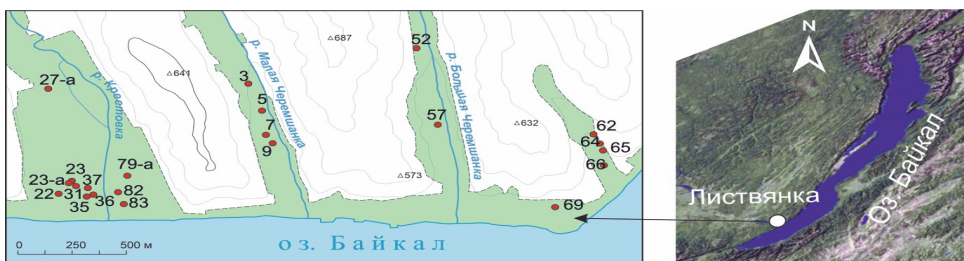


Рис. 1. Местоположение пос. Листвянка и схема точек отбора подземных вод

Выбор данного объекта обусловлен тем, что последние годы пос. Листвянка стал самым посещаемым местом на Байкале и испытывает мощную антропогенную нагрузку. В ходе исследования проводился комплекс полевых гидрогеологических исследований и выполнялись аналитические работы в лабораторных условиях. За этот период осуществлено детальное гидрогеологическое опробование общественных и частных колодцев, скважин, источников подземных вод, выполнена оценка качества подземных вод водопунктов режимной сети пос. Листвянка, выявлено локальное повышенное содержание нитратов в некоторых колодцах, воду из которых население использует в питьевых целях. Кроме того, исследован состав поверхностных вод р. Крестовки и ручьев Сенной, Банный, Большая и Малая Черемшанка для контроля их возможного загрязнения.

Цель настоящего исследования – дать оценку степени загрязнения подземных вод нитратами, представить динамику его изменения за период исследований, а также оценить изменение химического состава поверхностных вод.

Материалы и методы

В 2016 г. была организована режимная сеть водопунктов в пос. Листвянка, состоящая из муниципальных и частных колодцев и сква-

жин, в которых была выполнена оценка качества подземных и поверхностных вод поселка и выявлены следы хозяйственно-бытового загрязнения подземных вод. Впоследствии ежегодно выполнялось опробование водопунктов с загрязненной водой. Количество проб воды составляло 20–25, в них непосредственно на месте отбора определялись температура, рН, Eh и электропроводность воды, измерялся уровень воды в колодцах. Пробы воды для полного химического анализа доставлялись в лабораторию гидрогеологии Института земной коры (ИЗК) СО РАН. Анализ макрокомпонентного состава вод выполнен различными методами [Резников, Муликовская, Соколов, 1970; Хавезов, Цалев, 1983] в ЦКП «Геодинамика и геохронология» (ИЗК СО РАН, г. Иркутск): методом пламенной фотометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре SOLAAR M (Thermo Elemental, IN-TERTECH Corporation, США) – K^+ и Na^+ , объемным титриметрическим методом – Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , весовым – SO_4^{2+} , колориметрическим – NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , H_4SiO_4 , HPO_4^{2-} ; определены также рН, удельный вес и минерализация вод. Для оценки соответствия нормативным требованиям содержания компонентов природных вод были использованы ГОСТ 2874-82¹, СанПиН 1.2.3685-21² и СанПиН 2.1.4.1074-01³.

Результаты исследования

Подземные воды. В целом химический состав подземных грунтовых вод, залегающих на глубине 2,40–4,30 м в аллювиальных отложениях рек и ручьев в падах Листвянки, преимущественно гидрокарбонатный магниевый-кальциевый, минерализация 120–450 мг/дм³ и величина рН 6,0–7,7 [Качество подземных и поверхностных ... , 2016; Мониторинг качества подземных..., 2023]. Выявленное при общем обследовании водопунктов загрязнение подземных вод в нескольких колодцах и скважинах послужило отправной точкой ежегодного мониторинга в них химического состава как подземных, так и поверхностных вод. Основным поллютантом были нитраты, в единичных случаях – нитриты и соли аммония.

Семилетний мониторинг содержания нитратов в подземных водах, результаты которого представлены в табл. 1 и на рис. 2, свидетельствует об устойчивом загрязнении грунтовых вод большинства обследованных водопунктов (тт. 5, 22, 23 и 36) до 2021 г.

В 2021 г. зафиксировано снижение концентрации NO_3^- в колодезных водах до уровня ПДК или ниже, что, вероятно, связано с климатическими факторами, т. е. в основном с количеством атмосферных осадков, играющих главную роль в питании грунтовых вод. При увеличении количества атмо-

¹ ГОСТ 2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. Введ. 01.01.1985. М., 1997. 10 с.

² СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (от 21.01.2021 № 2). URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view> (дата обращения: 11.10.2023).

³ СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (утв. 26 сент. 2001 г. № 24). URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 11.10.2023).

сферных осадков питание грунтового водоносного горизонта возросло, что приводило к поднятию зеркала грунтовых вод. Об этом свидетельствует асинхронное изменение содержания нитратов и колебания глубины залегания воды в колодцах (рис. 3), поскольку при повышении уровня воды происходит разбавление растворов и уменьшение концентрации нитратов (т. 9, 22, 23).

Таблица 1

Содержание нитратов в грунтовых подземных водах в загрязненных водопунктах пос. Листвянка за период 2016–2022 гг.

| № точки (водопункт) | Содержание нитратов, мг/дм ³ | | | | | |
|---------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2016 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
| 3 (колодец) | 110,68 | сухой | сухой | 249,02 | 160,48 | 110,68 |
| Глубина уровня воды, м | 7,26 | – | – | 6,94 | 6,27 | 7,54 |
| 5 (колодец) | 99,61 | 44,27 | 193,68 | 127,17 | 33,20 | 68,62 |
| Глубина уровня воды, м | 3,78 | 3,35 | 3,90 | 3,93 | 3,75 | 3,74 |
| 7 (скважина) | 66,41 | 48,15 | 60,87 | – | – | – |
| Глубина до уровня воды, м | 10 | 10 | 10 | – | – | – |
| 9 (колодец) | 48,70 | 66,41 | 99,61 | 99,60 | 143,88 | 116,21 |
| Глубина уровня воды, м | 4,07 | 4,34 | 4,26 | 4,14 | 4,00 | 4,38 |
| 22 (колодец) | 90,75 | 70,83 | 60,87 | 54,23 | 29,33 | 48,70 |
| Глубина уровня воды, м | 2,61 | 2,22 | 2,94 | 2,72 | 2,67 | 2,72 |
| 22-а (скважина) | – | – | – | 39,84 | 45,65 | 30,43 |
| Глубина уровня воды, м | – | – | – | 70 | 70 | 70 |
| 23 (колодец) | 55,34 | 77,47 | 68,62 | 105,14 | 49,80 | 49,25 |
| Глубина уровня воды, м | 2,52 | 2,78 | 2,78 | 2,42 | 2,48 | 2,67 |
| 31 (колодец) | 50,91 | – | – | – | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 2,30 | – | – | – | – | – |
| 35 (колодец) | 77,47 | 84,11 | – | – | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 2,51 | 2,00 | – | – | – | – |
| 36 (колодец) | 121,74 | 90,76 | 88,54 | 59,76 | 48,0 | 49,80 |
| Глубина уровня воды, м | 2,51 | 2,80 | – | – | – | – |
| 37 (колодец) | 78,58 | 39,84 | – | – | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 1,82 | 2,00 | – | – | – | – |
| 52 (скважина) | 68,62 | 70,83 | 166,00 | 138,34 | – | 85,77 |
| Глубина уровня воды, м | 14 | 14 | 14 | 14 | – | 14 |
| 57 (колодец) | 73,05 | 70,83 | 0,44 | – | – | 19,36 |
| Глубина уровня воды, м | 4,40 | 3,70 | 4,30 | – | – | 4,30 |
| 64 (колодец) | 110,68 | 79,69 | 30,99 | – | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 4,15 | 3,90 | 4,60 | – | – | – |
| 65 (колодец) | 115,10 | 39,84 | 26,56 | 38,73 | 11,28 | 48,70 |
| Глубина уровня воды, м | 2,55 | 2,05 | 3,10 | 2,79 | 2,95 | 2,61 |
| 66 (колодец) | 128,38 | 46,48 | 44,27 | 49,80 | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 2,56 | 2,50 | 2,50 | – | – | – |
| 69 (скважина) | 88,54 | 104,92 | 55,34 | 60,87 | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 18 | 18 | 18 | 18 | – | – |
| 82 (колодец) | 132,87 | 154,95 | – | 75,25 | 38,74 | – |
| Глубина уровня воды, м | 2,45 | – | – | – | – | – |
| 83 (колодец) | 55,34 | 99,61 | 77,47 | 60,87 | – | – |
| Глубина уровня воды, м | 2,50 | – | – | – | – | – |

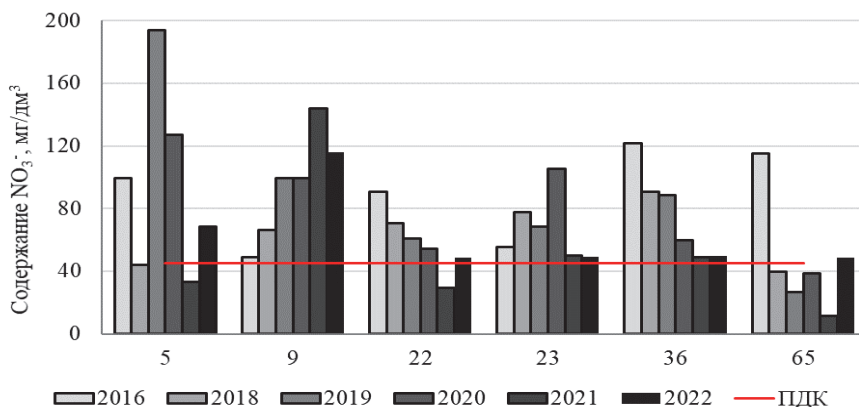


Рис. 2. Динамика содержания нитратов в подземных водах некоторых водопунктов пос. Листвянка (номера водопунктов соответствуют номерам в табл. 1). ПДК – предельно-допустимая концентрация нитратов в питьевой воде (45 мг/дм³)

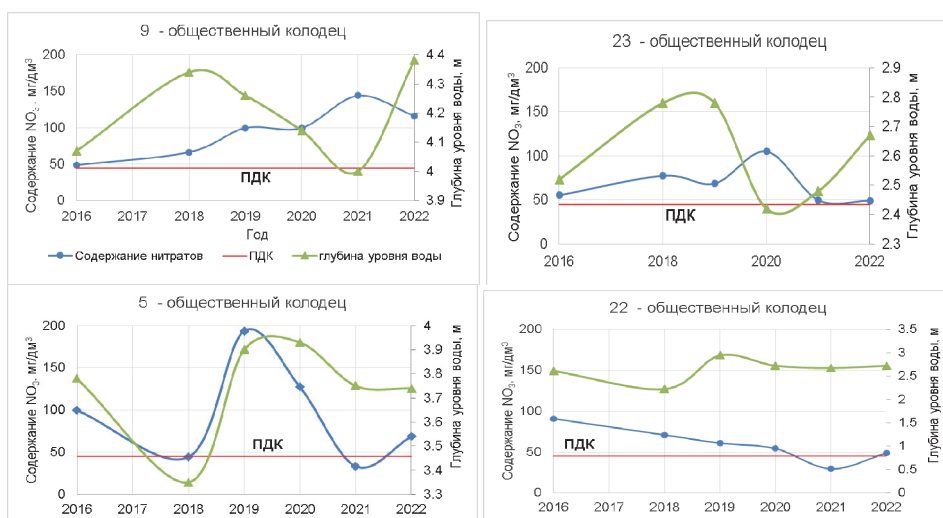


Рис. 3. Изменение содержания нитратов и глубины уровня воды в колодцах

Однако в некоторых водопунктах наблюдается противоположная картина – при повышении уровня воды в колодцах растет содержание NO_3 в пробе (т. 5). Это указывает на наличие источника загрязнения, вероятно, техногенного происхождения; таким источником могут быть септики недалеко расположенного гостиничного комплекса, утечки из которых представляют угрозу качеству подземных вод.

Результаты анализов подземных вод 2022 г. показали наличие солей аммония в водах пяти водопунктов, причем в двух частных колодцах содержание NH_4^+ составляет 5,50 (т. 77-а) и 12,50 (т. 5-а) мг/дм³, т. е. превышает ПДК (2 мг/дм³) в 2,75 и 6,25 раза соответственно. Такое высокое содержание аммония в воде связано с применением химических реагентов (на основе

азотных соединений) в подворьях частного сектора для обеззараживания выгребных ям и септиков. Привнос аммонийных солей в грунтовые воды осуществляется при инфильтрации атмосферных осадков через загрязненные почвы и верхние проницаемые слои осадочного разреза. Вода из этих колодцев используется населением в качестве технической.

Статус загрязнения подземных вод нитратами, вызванный деятельностью человека, можно определить с помощью индекса качества воды, называемого индексом загрязнения нитратами (NPI – index nitrate pollution), который широко используется в ходе экологических исследований [Bahrami, Zarei, Rostami, 2020; Temporal and spatial ... , 2021]. Рассчитать его можно с помощью простой формулы:

$$NPI = (C_{NO_3} - C_{ПДК}) / C_{ПДК}, \quad (1)$$

где C_{NO_3} – концентрация нитратов в пробе воды, $мл/дм^3$, $C_{ПДК}$ – предельно-допустимая концентрация нитратов (ПДК) в питьевой воде ($45 \text{ мг}/дм^3$). Качество воды можно разделить на 5 категорий: 1 – отсутствие загрязнения ($NPI < 0$), 2 – легкое загрязнение ($0 \leq NPI < 1$), 3 – умеренное загрязнение ($1 \leq NPI < 2$), 4 – сильное загрязнение ($2 \leq NPI < 3$) и 5 – очень сильное загрязнение ($NPI \geq 3$).

В пос. Листвянка качество воды колодцев попадает преимущественно в категорию 2 – легкое загрязнение, при котором индекс загрязнения нитратами изменяется от 0,08 до 0,97 (табл. 2). Категория 5 – очень сильное загрязнение с индексом 4,53, проявилась лишь раз в 2020 г. в колодце т. 3, которая через два года сменилась на категорию 3 – умеренное загрязнение. В целом в 2022 г. NPI снизился во всех водопунктах до категории легкое или умеренное загрязнение.

Таблица 2

Индекс загрязнения нитратами (NPI) и категория загрязнения (К*) грунтовых подземных вод в некоторых водопунктах пос. Листвянка за период 2016–2022 гг.

| № точки | 3 | | 5 | | 9 | | 22 | | 23 | | 36 | | 65 | |
|---------|------|----|-------|----|------|----|------|----|------|----|------|----|-------|----|
| | NPI | К* | NPI | К* | NPI | К* | NPI | К* | NPI | К* | NPI | К* | NPI | К* |
| 2016 | 1,46 | 3 | 1,21 | 3 | 0,08 | 2 | 1,02 | 3 | 0,23 | 2 | 1,71 | 3 | 1,56 | 3 |
| 2018 | – | – | –0,02 | 1 | 0,48 | 2 | 0,57 | 2 | 0,72 | 2 | 1,02 | 3 | –0,11 | 1 |
| 2019 | – | – | 3,3 | 5 | 1,21 | 3 | 0,35 | 2 | 0,52 | 2 | 0,97 | 2 | –0,41 | 1 |
| 2020 | 4,53 | 5 | 1,83 | 3 | 1,21 | 3 | 0,21 | 2 | 1,34 | 3 | 0,33 | 2 | –0,14 | 1 |
| 2021 | 2,57 | 4 | –0,26 | 1 | 2,2 | 4 | – | – | 0,11 | 2 | 0,08 | 2 | –0,75 | 1 |
| 2022 | 1,46 | 3 | 0,5 | 2 | 1,58 | 3 | 0,08 | 2 | 0,09 | 2 | 0,11 | 2 | 0,08 | 2 |

Поверхностные воды. Тесная взаимосвязь грунтовых подземных и поверхностных вод также приводит к изменению их химического состава. Мониторинговые исследования в период 1997–2012 гг. химического состава вод р. Крестовки выявили сезонную динамику концентрации главных ионов и биогенных компонентов в речной воде [Загорулько, Гребенщикова, Складорова, 2014]. Относительно содержания нитратов авторы констатировали, что концентрация NO_3^- остается на низком уровне, не превышая $0,35 \text{ мг}/дм^3$, т. е. гораздо ниже ПДК для питьевых вод. В ходе исследований содержания ми-

неральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках в пределах поселка и в целом южного побережья Байкала [Нарушение вертикальной зональности ... , 2012; Особенности химии атмосферных ... , 2013; Результаты многолетних исследований ... , 2013; Динамика содержания минеральных ... , 2018] установлено, что в поверхностных водах устьевых частей водотоков доля нитратного азота (относительно нитритного и аммонийного) преобладает в рассматриваемых водных средах, а повышенную концентрацию азотсодержащих соединений в поверхностных водах авторы публикаций связывают с антропогенным загрязнением – поступлением коммунально-бытовых сточных вод, промышленными (местными и региональными) и автомобильными выбросами [Дальний перенос шлейфов ... , 2017; Воложжина, Новикова, Ясько, 2017].

Гидравлическая связь поверхностных и подземных вод, а также питание водоносных горизонтов загрязненными атмосферными осадками способствуют попаданию и накоплению нитратов в грунтовых водах, что нарушает химический состав природных вод.

Наши исследования поверхностных вод ручьев, дренирующих пади и распадки пос. Листвянка (Сенная, Банная, Крестовая, Малая и Большая Черемшаная), а также оз. Байкал были выполнены в 2016, 2021 и 2022 гг. (табл. 3). Химический анализ показывает, что вода в р. Крестовая сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава. Минерализация вод изменяется в небольшом диапазоне 83–105 мг/дм³, рН 7 (нейтральная среда), естественная температура воды (летне-осенний период) низкая – 2,4–6,1 °С. В целом минерализация воды в р. Крестовка ниже таковой в оз. Байкал (109 мг/дм³) в прибрежной зоне. Загрязняющих веществ в речной воде не обнаружено (см. табл. 3): солей аммония – < 0,10, нитритов – < 0,01, нитратов – < 0,44 (или 0,44) и фосфатов – 0,007–0,038 мг/дм³. Подобные данные приведены и у других авторов за более ранний период 1997–2011 гг. [Загорюлько, Гребенщикова, Складорова, 2014].

В ручьях (Сенной, Банной, Малая и Большая Черемшанка) вода также имеет сульфатно-гидрокарбонатный магниево-кальциевый (иногда кальциевый) состав и минерализацию от 100 до 210 мг/дм³, рН изменяется от 7,05 до 8,2, температура воды составляет 3,0–9,6 °С. Концентрация азотсодержащих соединений в водах ручьев невысокая: NH_4^+ – < 0,1 (макс. 0,1), NO_2^- – < 0,01, NO_3^- от < 0,44 до 4,98 мг/дм³, т. е. не превышающая ПДК этих соединений для питьевых вод (см. табл. 3). Небольшое превышение содержания нитратных продуктов над фоновыми концентрациями связано с их поступлением из загрязненных подземных вод вследствие гидравлической связи. Питание поверхностных вод за счет загрязненных подземных вод, обнаруженных нами в нескольких колодцах и скважинах, приводит к повышению концентрации нитратов и ионов аммония, однако гораздо больший объем речного стока разбавляет поступающие растворы и нивелирует загрязняющий эффект. Рост содержания загрязняющих соединений (нитратов, нитритов) в поверхностных водах выше нормативных концентраций более вероятен при непосредственном поступлении хозяйственно-бытовых стоков в речную сеть.

Таблица 2

Химический состав поверхностных вод в водотоках пос. Листвянка (М – минерализация воды)

| Водоток | Год | рН Еh | t, °С | Ионный состав, мг/дм ³ | | | | | | | | | | M, мг/дм ³ | |
|-------------------------|------|---------------------|-------|-----------------------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| | | | | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | | $\frac{H_2SiO_4}{HPO_4^{2-}}$ |
| Р. Крестовка | 2016 | $\frac{7,0}{+90}$ | 6,1 | <0,1 | 0,35 | 2,51 | 2,43 | 8,02 | 1,77 | 17,28 | 24,41 | <0,01 | <0,44 | $\frac{27,0}{0,038}$ | 83,87 |
| | 2021 | $\frac{7,05}{-289}$ | 2,4 | <0,1 | 3,33 | 3,04 | 2,43 | 9,02 | 6,38 | 12,24 | 34,17 | <0,01 | 0,44 | $\frac{34,0}{-}$ | 105,05 |
| | 2022 | $\frac{7,05}{-}$ | 6,0 | <0,1 | 0,44 | 3,07 | 2,55 | 8,42 | 1,42 | 14,20 | 31,73 | <0,01 | 0,44 | $\frac{23,0}{-}$ | 85,27 |
| Руч. Бол. Черемшанка | 2016 | $\frac{7,30}{+90}$ | 9,6 | <0,1 | 0,77 | 2,19 | 0,61 | 22,0 | 1,77 | 24,48 | 39,05 | <0,01 | <0,44 | $\frac{22,0}{0,023}$ | 112,92 |
| | 2021 | $\frac{7,65}{-}$ | 6,6 | <0,1 | 5,48 | 4,07 | 5,84 | 30,5 | 9,93 | 22,53 | 96,41 | <0,01 | 4,98 | $\frac{21,0}{-}$ | 200,69 |
| | 2022 | $\frac{7,65}{-}$ | 8,0 | <0,1 | 1,42 | 3,79 | 7,30 | 31,1 | 4,61 | 23,25 | 108,61 | <0,01 | 4,98 | $\frac{22,0}{-}$ | 207,02 |
| Руч. Мал. Черемшанка | 2016 | $\frac{7,10}{+115}$ | 6,6 | 0,1 | 0,89 | 2,92 | 3,04 | 13,0 | 1,42 | 21,60 | 34,17 | <0,01 | 0,44 | $\frac{23,0}{-}$ | 100,60 |
| | 2021 | $\frac{7,25}{+330}$ | 3,0 | <0,1 | 6,46 | 3,83 | 3,28 | 16,0 | 10,6 | 21,30 | 51,26 | <0,01 | 0,44 | $\frac{27,0}{-}$ | 140,24 |
| | 2022 | $\frac{7,35}{-}$ | 6,3 | <0,1 | 0,46 | 3,79 | 3,89 | 14,0 | 2,84 | 18,31 | 48,82 | <0,01 | 0,66 | $\frac{23,0}{-}$ | 115,79 |
| Руч. Сенной | 2016 | $\frac{7,25}{+211}$ | 6,3 | <0,1 | 1,13 | 2,04 | 6,69 | 18,0 | 2,84 | 25,31 | 61,02 | <0,01 | 0,44 | $\frac{28,0}{<0,005}$ | 145,5 |
| | 2021 | $\frac{7,65}{-}$ | 4,0 | <0,1 | 2,77 | 1,95 | 8,63 | 27,1 | 3,55 | 20,27 | 104,95 | <0,01 | 0,44 | $\frac{34,0}{-}$ | 203,62 |
| | 2022 | $\frac{7,80}{-}$ | 6,5 | <0,1 | 1,31 | 2,04 | 9,12 | 29,1 | 1,42 | 20,78 | 113,5 | <0,01 | 0,44 | $\frac{32,00}{-}$ | 209,66 |
| Руч. Банный | 2016 | $\frac{7,50}{+221}$ | 7,5 | <0,1 | 1,29 | 1,93 | 9,12 | 28,1 | 2,48 | 18,11 | 107,39 | 0,01 | 0,44 | $\frac{31,0}{0,023}$ | 199,83 |
| | 2021 | $\frac{7,35}{-}$ | 5,4 | <0,1 | 3,44 | 2,51 | 5,72 | 19,0 | 4,25 | 25,41 | 58,58 | <0,01 | 1,55 | $\frac{35,0}{-}$ | 155,50 |
| | 2022 | $\frac{8,20}{-}$ | 7,0 | <0,1 | 1,39 | 3,07 | 9,48 | 20,4 | 2,48 | 24,48 | 72,00 | <0,01 | 1,56 | $\frac{21,0}{-}$ | 159,51 |
| Оз. Байкал | 2016 | $\frac{7,7}{-}$ | 10,6 | <0,1 | 0,96 | 3,80 | 2,19 | 18,4 | 1,77 | 5,50 | 73,22 | <0,1 | <0,44 | $\frac{3,0}{-}$ | 108,88 |

Таким образом, в связи с тем, что в пределах поселка определенная доля в питании рек и ручьев принадлежит подземным водам (особенно в меженный период), необходимо уделять большое внимание контролю попадания загрязняющих веществ из подземных в речные воды и далее в уникальную экосистему оз. Байкал.

Заключение

Полученные результаты исследования химического состава подземных и поверхностных вод в пределах пос. Листвянка позволяют сделать некоторые выводы.

1. В пределах поселка наблюдается устойчивое загрязнение грунтовых вод нитратами (редко аммонийными солями). Степень загрязнения зависит как от человеческого фактора (техногенное и сельскохозяйственное загрязнение), так и от климатических условий (количества атмосферных осадков).

2. За период мониторинга наблюдалась разнонаправленная динамика степени загрязнения, от резкого роста содержания нитратов в водах исследованных колодцев (например, т. 5 – до 194 мг/дм³) до устойчивого снижения концентрации азотсодержащих соединений (тт. 36, 65 – со 122 до 48,7 мг/дм³).

3. В соответствии с индексом загрязнения нитратами (NPI) воды исследованных водопунктов в настоящий период отвечают категориям 2 и 3, т. е. легкого или умеренного загрязнения.

4. Химический состав поверхностных вод в ручьях, дренирующих пади и распадки поселка, довольно стабилен. Загрязняющих веществ в речной воде не выявлено.

Список литературы

Вологжина С. Ж., Новикова С. А., Ясько Ф. М. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 15–29.

Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала / В. А. Оболкин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 60–65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108>.

Динамика содержания минеральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках поселка Листвянка (Южный Байкал) / Н. С. Чебунина, Н. А. Онищук, О. Г. Нецветаева, Т. В. Ходжер // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 124–139. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.3>

Загорюлько Н. А., Гребенищикова В. И., Склярова О. А. Многолетняя динамика химического состава вод реки Крестовки (приток озера Байкал) // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 76–82.

Качество подземных и поверхностных вод пади Крестовая (пос. Листвянка) / Л. П. Алексеева [и др.] // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 37–42. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(32-36\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(32-36))

Мониторинг качества подземных вод в поселке Листвянка (юго-западное побережье озера Байкал) / Л. П. Алексеева, С. В. Алексеев, П. А. Шолохов, А. М. Кононов // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Вып. 14, № 2. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0697>

Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничный озера Байкал / Л. С. Кравцова [и др.] // Доклады Академии наук. 2012. Т. 447, № 2. С. 227–229.

Особенности химии атмосферных осадков станций Листвянка (Иркутская область) и Приморская (Приморский край) в 2005–2011 гг. / О. Г. Нецветова [и др.] // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 26, № 6. С. 466–471.

Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природной воды. М. : Недра, 1970. 488 с.

Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала / В. А. Оболкин [и др.] // *География и природные ресурсы*. 2013. № 2. С. 66–73.

Хавезов И., Цалев Д. Атомно-абсорбционный анализ. Л., 1983.

Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies / S. N. Behera, M. Sharma., V. P. Aneja, R. Balasubramanian // *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20. P. 8092–8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>.

Bahrami M., Zarei A. R., Rostami F. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate by nitrate pollution index (NPI) and GIS (case study: Fasarud Plain, southern Iran) // *Environ. Geochem. Health*. 2020. Vol. 42. P. 3119–3130. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00546-x>

Hydrogeochemical insights into the signatures, genesis and sustainable perspective of nitrate enriched groundwater in the piedmont of Hutuo watershed, China / Y. Xiao [et al.] // *Catena*. 2022. Vol. 212. 106020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106020>.

Mekala C., Nambi I. M. Understanding the hydrologic control of N cycle: Effect of water filled pore space on heterotrophic nitrification, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium mechanisms in unsaturated soils // *Journal of Contaminant Hydrology*, 2017. Vol. 202. P. 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.04.005>

Nitrate distribution under the influence of seasonal hydrodynamic changes and human activities in Huixian karst wetland, South China / J. Chen [et al.] // *Journal of Contaminant Hydrology*. 2020. Vol. 234 <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103700>

Origin and fate of nitrates in groundwater from the central Po plain: Insights from isotopic investigations / E. Sacchi [et al.] // *Applied Geochemistry*. 2013. Vol. 34. P. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.008>.

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest fresh water biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin [et al.] // *Journal of Great Lakes Research*. 2016. N 42. P. 487–497. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>.

Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate using nitrate pollution index (NPI), groundwater pollution index (GPI), and GIS (case study: Essaouira basin, Morocco) / O. El Mountassir [et al.] // *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16922-8>.

Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters / H. Pauwels [et al.] // *Applied Geochemistry*. 2001. N 16. P. 583–596. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00062-7)

References

Vologzhina S.Zh., Novikova S.A., Yas'ko F.M. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukha vybrosami avtomobil'nogo transporta na territorii turistsko-rekreatsionnoi zony poborejija ozera Baikal [Atmospheric air pollution by motor transport emissions on the territory of the tourist and recreational zone of the coast of Lake Baikal]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2017, no. 22, pp. 15–29. (in Russian)

Obolkin V.A. et al. Dal'nii perenos shleifov atmosferykh vybrosov regional'nykh ugol'nykh TETS na akvatoriyu Yuzhnogo Baikala [Long-range transport of plumes of atmospheric emissions from regional coal-fired thermal power plants to the water area of Southern Baikal]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2017, vol. 30, no. 1, pp. 60–65. <https://doi.org/10.15372/AOO20170108> (in Russian)

Chebunina N.S., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Khodzher T.V. Dinamika soderzhaniya mineral'nykh form azota v vodotokakh i atmosferykh osadkakh pos. Listvyanka (Yuzhnyi Baikal) [Dynamics of the Content of Mineral Forms of Nitrogen in Watercourses and Atmospheric Precipita-

tion Listvyanka Settlement (South Baikal)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University, Earth Sciences Series] 2018, vol. 24, pp. 124–139. (in Russian)

Zagorulko N.A., Grebenshchikova V.I., Sklyarova O.A. Mnogoletnyaya dinamika khimicheskogo sostava vod reki Krestovki (pritok ozera Baikal) [The long-term dynamics of the chemical composition of the water of the Krestovka River (the tributary of Lake Baikal)]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2014, no. 3, pp. 76–82. (in Russian)

Alekseeva L.P. et al. Kachestvo podzemnykh i poverkhnostnykh vod padi Krestovaya (pos. Listvyanka) [Ground and surface waters quality in the Krestovaya Valley (Listvyanka settlement)]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2016, no. 6, pp. 37–42. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(32-36\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(32-36)) (in Russian)

Alexeeva L.P., Alexeev S.V., Sholokhov P.A., Kononov A.M. Monitoring of Groundwater Quality in Listvyanka Settlement (Southwest Coast of Lake Baikal). *Geodinamika i Tectonofisika* [Geodynamics & Tectonophysics], 2023, vol. 14, no. 2, 0697. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0697>

Kravtsova L.S. et al. Narushenie vertikalnoi zonalnosti zelenykh vodoroslei v pribrezhnoi chasti zaliva Listvennichnyi ozera Baikal [Disturbance of green algae vertical zonation in coastal water zone of Listvennichnyi bay of Baikal Lake]. *Doklady Akademii Nauk* [Dokl. Biol. Sci.], 2012, vol. 447, no. 2, pp. 227–229. (in Russian)

Netsvetaeva O.G. et al. Osobennosti khimii atmosferynykh osadkov stantsii Listvyanka (Irkutskaya oblast') i Primorskaya (Primorskii krai) v 2005–2011 gg. [Peculiarities of chemistry of atmospheric precipitations at stations Listvyanka (Irkutsk region) and Primorskaya (Primoryeterritory)]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2013, vol. 26, no. 6, pp. 466–471. (in Russian)

Reznikov A.A., Mulikovskaya E.P., Sokolov I.Yu. *Metody analiza prirodnoi vody* [Methods for the Natural Water Analysis]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 488 p. (in Russian)

Obolkin V.A. et al. Rezultaty mnogoletnikh issledovaniy kislotnykh vypadeniy v raione Yuzhnogo Baikala [Results of long-term studies of acid deposition in the area of South Baikal]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2013, no. 2, pp. 66–73. (in Russian)

Khavezov I., Tsalev D. *Atomno-absorbtsionnyi analiz* [Atomic absorption analysis]. Leningrad, 1983. (in Russian)

Behera S.N., Sharma M., Aneja V.P., Balasubramanian R. Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, pp. 8092–8131. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2051-9>.

Bahrami M., Zarei A.R., Rostami F. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate by nitrate pollution index (NPI) and GIS (case study: Fasarud Plain, southern Iran). *Environ. Geochem. Health*, 2020, vol. 42, pp. 3119–3130. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00546-x>

Xiao Y. et al. Hydrogeochemical insights into the signatures, genesis and sustainable perspective of nitrate enriched groundwater in the piedmont of Hutuo watershed, China. *Catena*, 2022, vol. 212, 106020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106020>

Mekala C., Nambi I.M. Understanding the hydrologic control of N cycle: Effect of water filled pore space on heterotrophic nitrification, denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium mechanisms in unsaturated soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2017, vol. 202, pp. 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2017.04.005>

Chen J. et al. Nitrate distribution under the influence of seasonal hydrodynamic changes and human activities in Huixian karst wetland, South China. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2020, vol. 234 <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103700>

Sacchi E., Acutis M., Bartoli M. et al. Origin and fate of nitrates in groundwater from the central Po plain: Insights from isotopic investigations. *Applied Geochemistry*, 2013, vol. 34, pp. 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.008>

Timoshkin O. A. et al. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest fresh water biodiversity in danger? *Journal of Great Lakes Research*, 2016, no. 42, pp. 487–497. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>.

Mountassir O.El., et al. Temporal and spatial assessment of groundwater contamination with nitrate using nitrate pollution index (NPI), groundwater pollution index (GPI), and GIS (case study: Essaouira basin, Morocco). *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16922-8>.

Pauwels H. et al. Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters. *Applied Geochemistry*, 2001, no. 16, pp. 583–596. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00062-7)

Сведения об авторах

Алексеева Людмила Павловна
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664082, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
e-mail: lalex@crust.irk.ru

Алексеев Сергей Владимирович
доктор геолого-минералогических наук,
заведующий лабораторией
Институт земной коры СО РАН
Россия, 664082, г. Иркутск,
ул. Лермонтова, 128
e-mail: salex@crust.irk.ru

Information about authors

Alexeeva Ludmila Pavlovna,
Doctor of Geology and Mineralogy,
Leading Researcher Scientist
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664082,
Russian Federation
e-mail: lalex@crust.irk.ru

Alexeev Sergey Vladimirovich
Doctor of Science (Geology and Mineralogy),
Head of Laboratory
Institute of the Earth's Crust SB RAS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664082,
Russian Federation
e-mail: salex@crust.irk.ru