



MONITORING OF GROUNDWATER QUALITY IN LISTVYANKA SETTLEMENT (SOUTHWEST COAST OF LAKE BAIKAL)

L.P. Alexeeva , S.V. Alexeev , P.A. Sholokhov, A.M. Kononov

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

ABSTRACT. A systematic monitoring of the hydrosphere is important and necessary to maintain a good ecological status of Lake Baikal. The article presents the results of a five-year monitoring of the groundwater and surface waters quality in Listvyanka settlement. The goal is to determine the contamination level of drinking water supply system. In the field studies, portable measurement devices were used for monitoring temperature, pH, Eh, electrical water conductivity and water levels in wells, and water samples were taken for a complete chemical analysis. The analysis of the macrocomponent composition of water was carried out by various methods (flame photometry, volumetric titration, weight method, colorimetry) at the Center for Geodynamics and Geochronology of the Institute of the Earth's Crust SB RAS (Irkutsk); the trace element composition was determined by the ICP MS method on the Element-2 device (Finnigan MAT, Germany) at the Institute of Geochemistry SB RAS (Irkutsk); microbiological analysis of water samples was performed at the Irkutsk Interregional Veterinary Laboratory; the analysis of isotope characteristics ($\delta^{18}\text{O}$ and δD) of water samples was performed in the Laboratory of Hydrogeology of the Institute of the Earth's Crust SB RAS (Irkutsk) on a Picarro L2140-i gas analyzer.

The results obtained indicate a change in macrocomponent composition of waters and an uneven distribution of pollutants over the area. The content of 42 trace elements in groundwater and river waters generally does not exceed the regulatory requirements for drinking water; the exceptions are Fe and Mn. Ten wells do not meet the sanitary and epidemiological rules and norms SanPiN 2.1.4.1074-01. The main sources of groundwater pollution are leaking septic tanks of numerous hotel complexes located in the valleys and on the valley slopes. The processes of water pollution and restoration of natural regime of water are of different intensity. For groundwater and river waters, there were determined the relative concentrations of stable isotopes of hydrogen and oxygen (δD and $\delta^{18}\text{O}$), and $\delta\text{D}=5.5307\cdot\delta^{18}\text{O}-31.815$ relationship and the deuterium excess values were obtained. Characteristics δD and $\delta^{18}\text{O}$ are the bases of the isotope database for the aquatic environment of Listvyanka settlement.

KEYWORDS: groundwater and river waters; macrocomponents and trace elements of waters; nitrates; microbiological parameters; isotopic composition of waters

FUNDING: Research work was carried out within the framework of project 075-15-2020-787 "Fundamental foundations, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the ecological situation in the Baikal natural territory". Water sample analyses were conducted using equipment and infrastructure of the Centre for Geodynamics and Geochronology at the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (grant 075-15-2021-682).



RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Ludmila P. Alexeeva, lalex@crust.irk.ru

Received: October 19, 2022

Revised: November 18, 2022

Accepted: December 12, 2022

FOR CITATION: Alexeeva L.P., Alexeev S.V., Sholokhov P.A., Kononov A.M., 2023. Monitoring of Groundwater Quality in Listvyanka Settlement (Southwest Coast of Lake Baikal). *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (2), 0697. doi:10.5800/GT-2023-14-2-0697

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПОСЕЛКЕ ЛИСТВЯНКА (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ)

Л.П. Алексеева, С.В. Алексеев, П.А. Шолохов, А.М. Кононов

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

АННОТАЦИЯ. Систематический мониторинг состояния гидросферы актуален и необходим для сохранения благоприятной экологической обстановки оз. Байкал. В статье представлены результаты пятилетнего мониторинга качества подземных и поверхностных вод пос. Листвянка с целью определения уровня загрязнения вод, используемых для питьевого водоснабжения. В ходе полевых исследований портативными приборами были измерены температура, pH, Eh и электропроводность воды, уровень воды в колодцах и отобраны пробы воды для полного химического анализа. Анализ макрокомпонентного состава вод выполнен различными методами (пламенной фотометрии, объемным титриметрическим, весовым, колориметрическим) в ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры (г. Иркутск); микрокомпонентный состав определен методом ICP MS на приборе Element-2 (Finnigan MAT, Германия) в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск); микробиологический анализ проб воды выполнялся в Иркутской межобластной ветеринарной лаборатории; анализ изотопных характеристик ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) проб воды выполнен в лаборатории гидрогеологии Института земной коры СО РАН (г. Иркутск) на газовом анализаторе Picarro L2140-i.

Полученные результаты свидетельствуют об изменении макрокомпонентного состава вод и о неравномерном по площади поступлении поллютантов. Содержание 42 микрокомпонентов в подземных и речных водах в основном не превышает нормативных требований к питьевой воде, исключение составляют Fe и Mn. По эпидемиологическим показателям десять водопунктов не соответствуют СанПиН 2.1.4.1074-01. Основными источниками загрязнения подземных вод являются утечки бытовых стоков из септиков многочисленных гостиничных комплексов, расположенных в долинах и по бортам распадков. Интенсивность процессов загрязнения и восстановления природного состояния вод различна. В подземных и речных водах определены относительные концентрации стабильных изотопов водорода и кислорода (δD и $\delta^{18}\text{O}$), получено уравнение связи $\delta\text{D}=5.5307 \cdot \delta^{18}\text{O}-31.815$ и значения эксцесса дейтерия. Характеристики δD и $\delta^{18}\text{O}$ являются основой базы изотопных данных водной среды пос. Листвянка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подземные и речные воды; макро- и микрокомпонентный состав вод; нитраты; микробиологические показатели; изотопный состав вод

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Научно-исследовательские работы выполнены в рамках проекта № 075-15-2020-787 «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).

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы пос. Листвянка (рис. 1) стал самым посещаемым местом на оз. Байкал. Поселок имеет хорошо развитую инфраструктуру с большим количеством объектов массового туризма и отдыха. Развитие туристской сферы сопровождается масштабным строительством новых и эксплуатацией действующих гостиничных комплексов. При этом существенно изменяются естественные ландшафты, резко ухудшается состояние наземной и подземной гидросферы. В связи с этим оценка техногенного воздействия на экосистему оз. Байкал приобретает особую важность. Региональные геохимические исследования различных природных сред (породы, почва, донные отложения, атмосферные осадки, поверхностные воды) Байкальского геоэкологического региона с целью выявления влияния экологически значимых химических элементов на окружающую природную среду и здоровье населения проводились начиная с 1990-х гг. в рамках

опытно-производственных, опытно-методических и научно-исследовательских проектов [Shenkman, 1990; Koval et al., 1993, 2000, 2004; Koval, Kuzmin, 1994; Pampura et al., 1995; Kitaev et al., 1998; Galazy et al., 2000; Shpeizer et al., 1999; Lomonosov et al., 2001, 2002; Naprasnikova et al., 2007; Grebenshchikova et al., 2008; Netsvetaeva et al., 2013; Obolkin et al., 2013; Chebunina et al., 2018].

Однако систематический мониторинг химического состава подземных вод, испытывающих существенную антропогенную нагрузку, до настоящего времени отсутствовал.

Оценка санитарно-экологического состояния колодезной воды пос. Листвянка в 2007 г. показала, что бактериологические показатели воды большинства колодцев не отвечали санитарным нормам, однако химический состав воды соответствовал ГОСТу 2874-82. В связи с этим в 2016–2021 гг. осуществлено детальное гидрогеологическое опробование общественных и частных колодцев, скважин, источников подземных

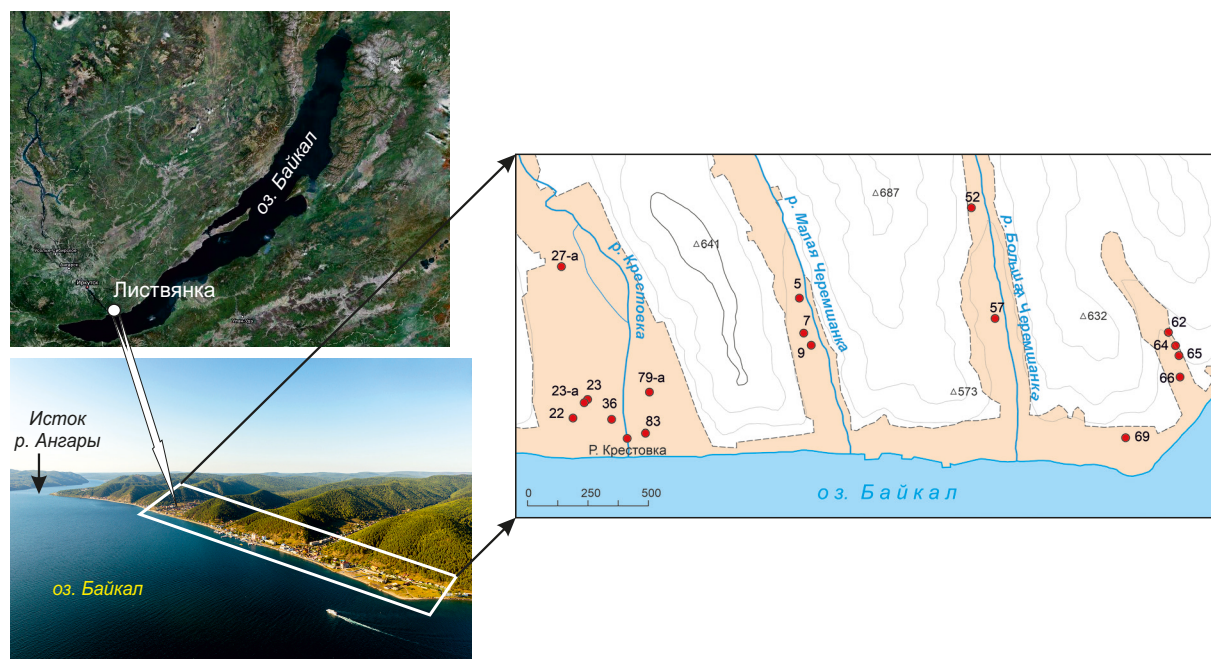


Рис. 1. Местоположение пос. Листвянка и точки отбора проб подземных и поверхностных вод в 2021–2022 гг.

Fig. 1. Location of the Listvyanka settlement and water sampling points (2021–2022).

вод, р. Крестовка и ручьев Сеннушка, Банный, Большая и Малая Черемшанка и выполнена оценка качества подземных и поверхностных вод водопунктов режимной сети пос. Листвянка. Кроме того, впервые исследован изотопный состав кислорода и водорода подземных и поверхностных вод для последующего мониторинга источников питания водоносных горизонтов, используемых для питьевого водоснабжения.

Главной целью исследования было получение информации о качественном состоянии подземных вод поселка, выявление участков загрязненных подземных и поверхностных вод и мониторинг состава вод, используемых населением для питьевого водоснабжения.

Гидрогеологические исследования в пос. Листвянка выполняются в рамках крупного научного проекта Минобрнауки РФ и являются составляющей комплекса систематических измерений, направленных на оценку и прогноз опасных эндогенных и экзогенных процессов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Из каптажных сооружений (колодцы, скважины) и ручьев в пос. Листвянка за период 2016–2022 гг. отбирались пробы подземных и поверхностных вод. В 2016 г. было опробовано 106 водопунктов для выяснения общей гидрогеологической обстановки, а в последующие годы отбирались только пробы загрязненных подземных вод с целью мониторинга их химического состава. Пробы отбирались в разные годы в разные сезоны – летний (июнь и август) и осенний (октябрь). Всего отобрано 190 проб для химического, 10 – для микробиологического и 15 – для изотопного анализа. В ходе полевых

исследований портативными приборами были измерены температура, pH, Eh и электропроводность воды, уровень воды в колодцах и отобраны пробы воды для полного химического анализа. На оборудованных гидрометрических створах была замерена скорость течения воды в реке для расчета ее расхода. Анализ макрокомпонентного состава вод выполнен различными методами в ЦКП «Геодинамика и геохронология» (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^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NO_2^- , NO_3^- , H_4SiO_4 , HPO_4^{2-} ; определены также pH, удельный вес и минерализация вод.

Микрокомпонентный состав определен методом ICP MS на приборе Element-2 (Finnigan MAT, Германия) в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск). Для градуирования при расчетах содержаний элемента в пробе использовались многоэлементные сертифицированные растворы CLMS-1, -2, -3, -4 (SPEX, США) с концентрациями элементов 50, 100, 1000 и 5000 нг/мл. Правильность и воспроизводимость анализа оценивались по сертифицированным многоэлементным растворам: Combined Quality Control Standard IQC-26 (Ultra Scientific, США); ICP Multi Element Standard Solution X CertiPUR for Surface Water Testing (MERCK, Германия), разбавленным в десять раз деионизированной H_2O . Пределы обнаружения (ПО) каждого из определяемых элементов рассчитывались по стандартной формуле: $ПО = C_{измер} + 3\sigma$, где $C_{измер}$ – среднее значение контрольного опыта; σ – относительное среднее квадратичное отклонение измерений. В ходе исследования были выполнены

прецизионные определения содержания следующих элементов: Be, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Th, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Pb, Th и U.

Микробиологический анализ проб воды выполнялся в Иркутской межобластной ветеринарной лаборатории.

Для оценки качества природных вод были использованы ГОСТ 2874-82 [GOST., 1997], СанПиН 2.1.4.1074-01 [SanPiN., 2002] и СанПиН 1.2.3685-21 [SanPiN., 2021].

Анализ изотопных характеристик ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) девяти проб воды в 2021 г. выполнен в лаборатории гидрогеологии Института земной коры СО РАН (г. Иркутск) на газовом анализаторе Picarro L2140-i на основе метода WS-CRDS (Wavelength Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy – Спектроскопия поглощения света в многопоточных неаксиальных кюветах при сканировании

по длине волн). В качестве стандарта использовалась дистиллированная водопроводная вода г. Иркутска (стандарт Irk), откалиброванная по стандартам USGS 46 и USGS 47, со следующими характеристиками: $\delta^{18}\text{O} = -15.727$, $\delta\text{D} = -122.461$. Точность измерений составляла не более 0.05 ‰ для $\delta^{18}\text{O}$ и не более 0.8 ‰ для δD .

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Гидрогеологические условия

Пос. Листвянка расположен в предгорье Приморского хребта, в истоке р. Ангары. Основные формы рельефа – пади, распадки и небольшие водораздельные пространства. Водоразделы представляют собой невыдержанные волнистые предгорные пики с эрозийным расчленением и обнажения с абсолютными отметками 700–750 м, снижающимися в долинах рек и ручьев до 480–500 м. Относительные превышения составляют 15–20 м.

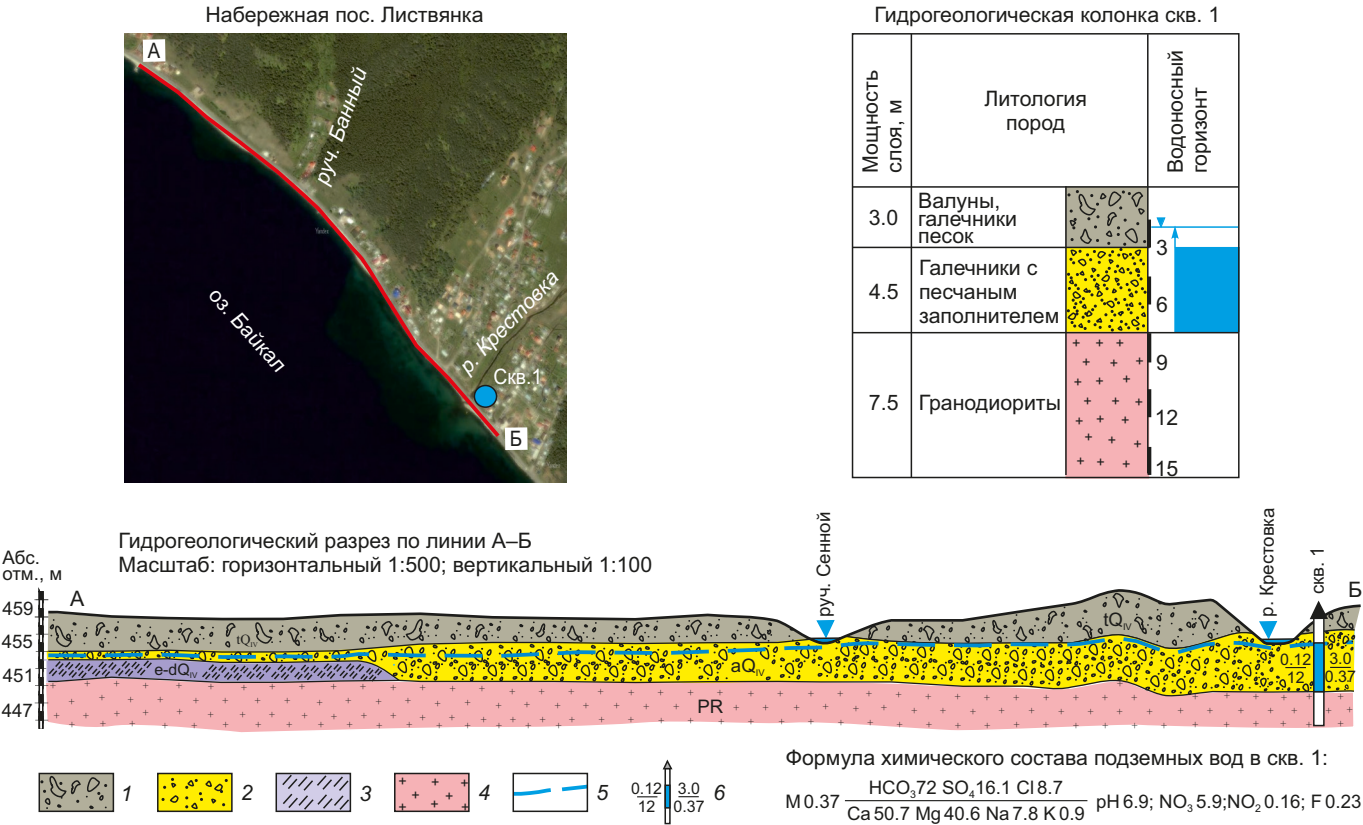


Рис. 2. Гидрогеологический разрез прибрежной части оз. Байкал в районе пос. Листвянка. 1 – современные техногенные отложения (tQ_{IV}): насыпные грунты, галечники с песчаным заполнителем; 2 – четвертичные аллювиальные отложения (aQ_{IV}): водонасыщенные галечники с песчаным заполнителем; 3 – четвертичные элювиально-делювиальные отложения ($e-dQ_{IV}$): супеси тяжелые с включением дресвы и щебня; 4 – протерозойские магматические породы (PR): граниты, гранодиориты; 5 – уровень подземных вод; 6 – гидрогеологическая скважина: слева в числителе – дебит, л/с, в знаменателе – понижение, м; справа в числителе – глубина статического уровня, м, в знаменателе – минерализация воды, г/дм³.

Fig. 2. Hydrogeological section of the coastal part of Lake Baikal in the area of Listvyanka settlement. 1 – recently deposited technogenic sediments (tQ_{IV}): fill-up ground, coarse gravel with sand; 2 – Quaternary alluvial sediments (aQ_{IV}): water-saturated coarse gravel with sand; 3 – Quaternary eluvial-deluvial sediments ($e-dQ_{IV}$): heavy silts with inclusions of gravel and rock debris; 4 – Proterozoic igneous rocks (PR): granites, granodiorites; 5 – groundwater level; 6 – hydrogeological well: on the left in the numerator – borehole output, l/s, in the denominator – level decrease, m; on the right in the numerator – the depth of the static level, m, in the denominator – water salinity, g/L.

В долинах рек, дренирующих пади и распадки, распространены четыре типа подземных вод – порово-пластовые аллювиальных отложений, поровые элювиально-делювиальных отложений, трещинно-пластовые юрских отложений и трещинные метаморфических и кристаллических пород [Alexeev et al., 2016] (рис. 2).

Порово-пластовые воды аллювиальных отложений залегают на глубине 0.5–5.5 м, мощность горизонта составляет 6–7 м. Режим подземных вод аллювиальных отложений зависит от количества и режима выпадения атмосферных осадков, интенсивности сезонного промерзания водовмещающих горных пород. Разгрузка подземных вод происходит на перегибах продольного профиля долины или в результате перемерзания водоподводящих каналов.

Поровые воды элювиально-делювиальных отложений распространены повсеместно на склонах и пологих водораздельных пространствах, залегают на глубине 0.5–3.0 м. Они чаще всего встречаются в виде верховодки, питаются за счет атмосферных осадков и вытесняющих линз подземного льда.

Трещинно-пластовые воды юрских отложений развиты в средних и верхних частях бассейнов рек Крестовка и Малая Черемшанка. Водоносные горизонты, как правило, не выдержаны по простиранию, они обычно контролируются разрывными нарушениями.

Трещинные воды метаморфических и кристаллических пород архея и протерозоя встречаются в пределах горного обрамления. Водоносные горизонты приурочены к зоне экзогенной трещиноватости мощностью 50–100 м и имеют гидравлическую связь с оз. Байкал. Основной источник питания водоносных горизонтов – атмосферные осадки, которые поступают в виде поверхностного стока, а также подземного склонового стока с окружающих хребтов и предгорий. Подземные воды разгружаются посредством источников или субаквально в днищах падей и распадков на перегибах продольного профиля долин, у подножий склонов.

3.2. Макрокомпонентный состав подземных и поверхностных вод

Сведения об общем химическом составе подземных и поверхностных вод ранее приведены в работе [Alexeeva et al., 2016]. Установлено, что подземные воды грунтового водоносного горизонта, вскрытые колодцами в аллювиальных отложениях на глубине 2.40–4.30 м, по химическому составу преимущественно гидрокарбонатные магниево-кальциевые с минерализацией 120–450 мг/дм³ и величиной pH 6.0–7.7. Качественное состояние подземных вод частных скважин и колодцев в пос. Листвянка, которые используются для питьевого водоснабжения, в целом удовлетворительное, содержание всех компонентов подземных вод в этих водопунктах не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) для питьевых вод. Однако в 2016 г. в нескольких колодцах и скважинах были выявлены следы хозяйственно-бытового загрязнения

подземных вод. Установлено, что загрязнение водоносного горизонта произошло в результате утечек бытовых стоков из неправильно оборудованных септиков близрасположенных гостиничных комплексов. Состав загрязненных подземных вод изменчив, от гидрокарбонатных магниево-кальциевых до хлоридно-гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-хлоридных магниево-кальциевых, сульфатно-гидрокарбонатных натриево-магниево-кальциевых. Величина минерализации, как правило, выше и достигает 733 мг/дм³.

Пятилетний мониторинг химического состава и концентрации основного загрязнителя подземных вод – нитратов – в выявленных водопунктах свидетельствует о незначительном изменении химического состава вод и неравномерном по площади поступлении поллютантов, при этом интенсивность процессов загрязнения и восстановления природного состояния вод различна.

Минерализация подземных вод в период наблюдения изменялась в небольшом диапазоне – 100–200 мг/дм³, не превышая ПДК для питьевых вод – 1000 мг/дм³. Рост минерализации воды происходил в основном в результате увеличения концентрации нитратов, а при восстановлении содержания азотных компонентов соленость воды понижалась.

Характерный процесс восстановления качества подземных вод зафиксирован в пади Березовой. Концентрация нитратов в подземных водах колодцев на ул. Партизанской (т. 64, 65, 66) постепенно снижалась на протяжении всего периода наблюдений с превышающих в 2.5–3.0 раза ПДК значений (111–128 мг/дм³) до значений ниже ПДК (31–44 мг/дм³) (рис. 3). При снижении концентраций нитратов фиксировалось уменьшение минерализации воды с 361–370 до 252–291 мг/дм³. В целом эту ситуацию можно охарактеризовать как постепенный процесс самоочищения подземных вод.

Подобная ситуация наблюдалась и в колодцах пади Крестовая на ул. Горной (т. 22), Куликова (т. 23), Кузнецова (т. 36), где также происходило снижение концентрации нитратов с 90–122 мг/дм³ до значений, практически не превышающих нормативные требования (29–48 мг/дм³).

В колодцах пади Малая Черемшанка на ул. Чапаева (т. 3, 9) неудовлетворительное качество воды сохраняется в течение нескольких лет, отмечается даже рост содержания нитратов до 144–160 мг/дм³, что более чем в три раза выше ПДК. В воде колодца (т. 5) концентрация NO₃⁻ после высоких значений в предыдущие годы, превышавших ПДК в 4.3 раза, в 2021 г. снизилась до безопасного уровня – 33 мг/дм³.

Снижение концентрации нитратов в воде и восстановление качества подземных вод может быть связано как с климатическими условиями, так и с устранением техногенных источников загрязнения. В первом случае основную роль среди климатических факторов играет количество осадков в сезонном цикле, поскольку питание грунтовых вод, залегающих в четвертичных отложениях, осуществляется преимущественно

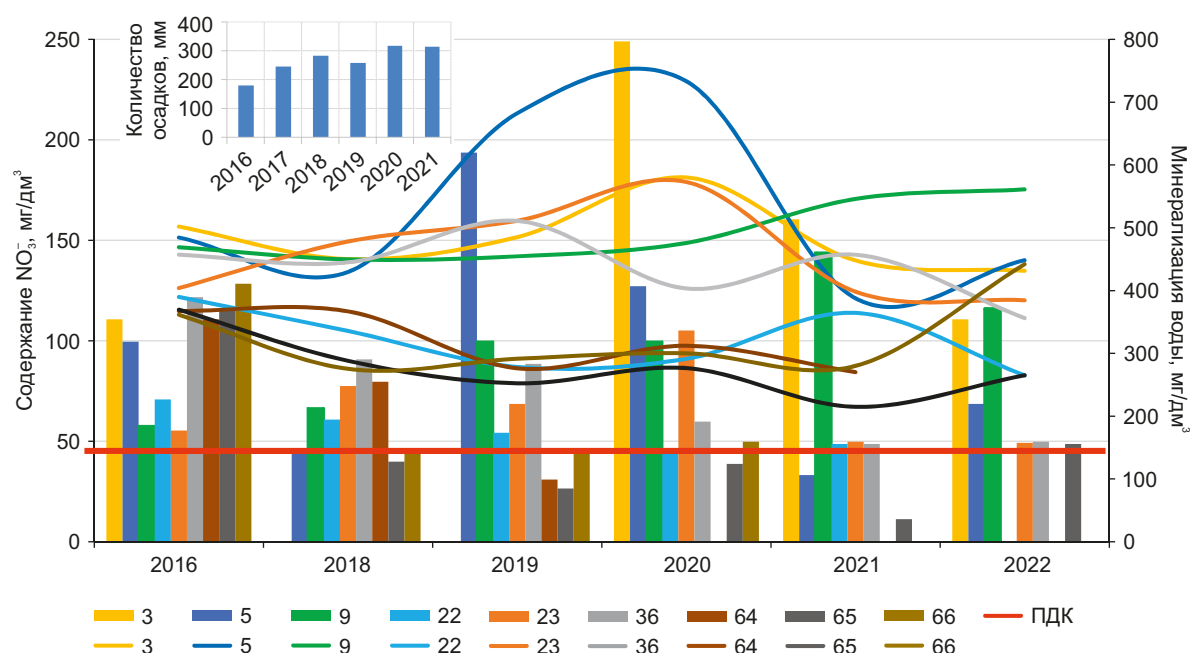


Рис. 3. Динамика минерализации (линии) и содержания нитратов (столбики) в подземных водах колодцев (т.т. 3, 5, 9, 22, 23, 36, 64, 65, 66) пос. Листвянка за период 2016–2022 гг. ПДК нитратов в питьевой воде – 45 мг/дм³ [ГОСТ..., 1997]. На врезке – годовое количество осадков в районе пос. Листвянка за период 2016–2021 гг. (по метеостанции Большое Голоустное).

Fig. 3. Dynamics of salinity (lines) and nitrate content (bars) of groundwater (wells 3, 5, 9, 22, 23, 36, 64, 65, 66) in Listvyanka settlement for the period 2016–2022. MPC is the maximum permissible concentration of nitrates in drinking water (45 mg/L) [ГОСТ..., 1997]. The inset shows the annual precipitation in the area of Listvyanka settlement for the period 2016–2021 (according to Bolshoe Goloustnoye weather station).

за счет атмосферных осадков. Климат в пос. Листвянка умеренно холодный, средняя годовая температура составляет +1.7 °С. В зимний период выпадает гораздо меньше осадков, чем летом. Среднегодовая норма осадков – 613 мм. Самый сухой месяц – февраль (около 10 мм осадков). Большая часть осадков выпадает в июле, в среднем 120 мм. Однако в последние годы (2018–2021 гг.) наблюдался рост количества атмосферных осадков в регионе (см. врезку на рис. 3), что привело к повышенному питанию грунтового водоносного горизонта и поднятию зеркала грунтовых вод. Одновременно в нескольких колодцах зафиксировано уменьшение концентрации нитратов в воде до уровня ПДК или даже ниже. В колодце т. 9 (ул. Чапаева) наблюдается обратная ситуация – при низком уровне воды содержание NO_3^- возросло в 2021 г., что свидетельствует о наличии источника загрязнения, вероятно, техногенного происхождения – недалеко расположен гостиничный комплекс, септики которого могут являться таким источником.

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, ул. Горького) и 12.50 (т. 5-1, ул. Судзиловского) 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. Вода из этих колодцев используется населением в качестве технической.

3.3. Микрокомпонентный состав подземных и поверхностных вод

Важной составляющей комплексных исследований процессов формирования химического состава природных вод является определение содержания микрокомпонентов, что в целом позволяет получить общее представление о поведении элементов и особенностях их накопления в водах. Абсолютные концентрации микрокомпонентов представлены в Прил. 1, табл. 1.1. На приведенной диаграмме (рис. 4) можно проследить синхронное изменение концентрации микрокомпонентов в подземных и поверхностных водах поселка, что свидетельствует о единстве водоносной системы и хорошей гидравлической связи грунтового водоносного горизонта с речными водами р. Крестовка.

Однако для подземных вод в двух водопунктах выявлено повышенное относительно среднего содержание Zn: в 5 раз в общественном колодце на ул. Чапаева (т. 9), в 10 раз в домашнем колодце на ул. Партизанской (т. 66) и Cu: в 11 раз в домашнем колодце на ул. Партизанской (т. 66). Более того, в общественном колодце на ул. Гудина (т. 57) обнаружено содержание Mn и Fe, превышающее ПДК для питьевых вод более чем в 3 и 2 раза соответственно. Локализация загрязнения вод этими микрокомпонентами в нескольких водопунктах поселка может свидетельствовать о точечном

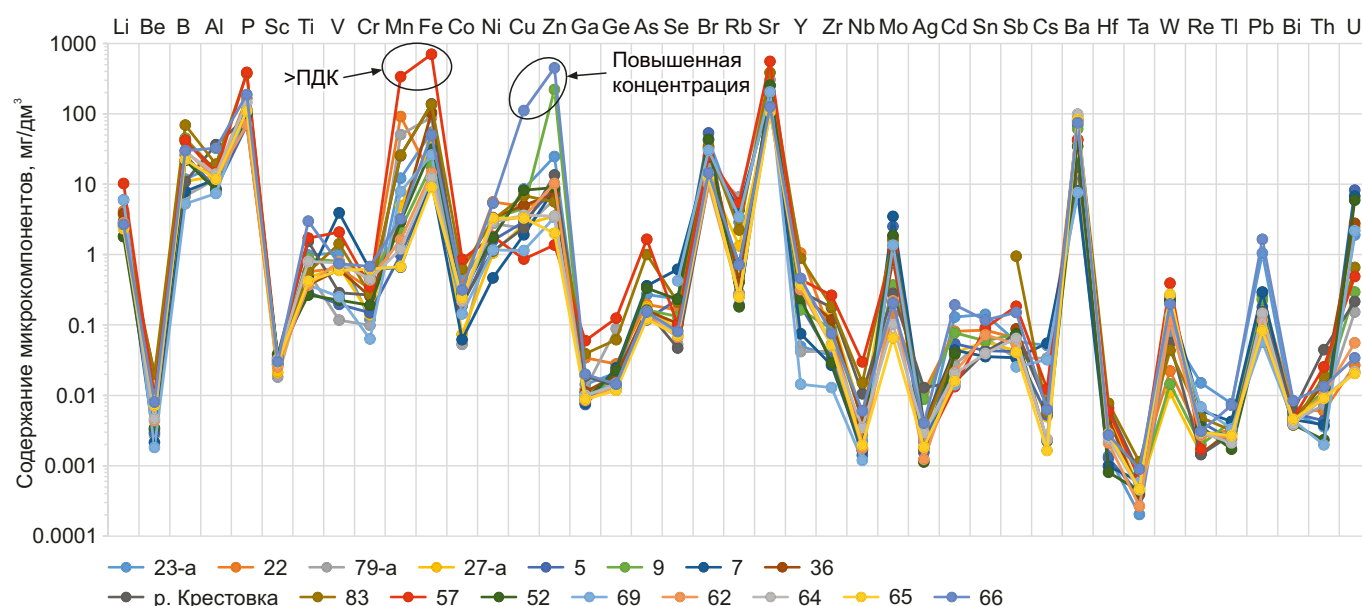


Рис. 4. Log-распределение микрокомпонентов в подземных водах пос. Листвянка и водах р. Крестовка.

Fig. 4. Log-distribution of trace elements in groundwater of Listvyanka settlement and in waters of the Krestovka River.

попадании в подземные воды хозяйственно-бытовых стоков или остатков комплексных хелатных удобрений, включающих несколько микроэлементов (Mn, Zn, Cu и т.п.) и активно применяющихся на приусадебных участках.

3.4. Микробиологические показатели подземных вод

Субаквальная разгрузка загрязненных грунтовых вод в оз. Байкал могла быть одной из причин крупномасштабной скрытой эвтрофикации мелководной и заплесковой зон и заражения акватории озера спирогиры (разновидность нитчатых водорослей). Кроме того, безопасность подземных вод при использовании для питьевого водоснабжения в эпидемиологическом отношении определяется соответствием их состава нормативам по микробиологическим показателям. Для оценки качества подземных вод были выполнены микробиологические исследования в десяти пробах подземных грунтовых вод, которые включали определение в воде доли микроорганизмов, связанных с человеком и продуктами его жизнедеятельности (табл. 1).

Общее микробное число (ОМЧ) отражает общее количество микроорганизмов с анаэробными и аэробными свойствами в 1 мл воды, которые образуются за сутки при температуре 37 °С, в питательной среде. Высокое ОМЧ является индикатором загрязнения органическими соединениями (например, содержащимися в фекалиях) и различными формами азота. Этот показатель в питьевой воде пос. Листвянка коррелирует с высоким содержанием нитратов в воде опробованных водопунктов (табл. 1). Значения ОМЧ во всех пробах воды из домашних колодцев и скважины водопроводной сети гостиницы «Крестовая падь» не превышают ПДК (не более 100 КОЕ/1 мл). В общественных

колодцах общая микробная численность бактерий в ходе анализа демонстрирует уверенный рост.

Большую роль в загрязнении воды играют патогены – микроорганизмы (бактерии группы кишечной палочки), которые также называются колиформными и колиформными бактериями. Их наличие свидетельствует о некачественном водоснабжении и возможном фекальном загрязнении водоисточника, что создает потенциальную угрозу развития и распространения кишечных заболеваний.

ТКБ (термотолерантные колиформные бактерии) – группа колиформных организмов, индикатор загрязнения продуктами жизнедеятельности. Они быстро обнаруживаются, поэтому служат для оценки эффективности очистки воды от фекальных бактерий. Группа ОКБ (общие колиформные бактерии) включает достаточно большое число родов семейства *Enterobacteriaceae*, многие представители которого относятся к нормальной микрофлоре человеческого желудка. Среди этих микроорганизмов также присутствует большое число свободноживущих сапрофитов, поэтому присутствие в питьевой воде ОКБ сигнализирует о вероятности загрязнения воды сточными водами.

Результаты определения показателей ОКБ и ТКБ в воде опробованных колодцев свидетельствуют об обнаружении этих патогенов в водопунктах на улицах Горной (т. 22), Чапаева (т. 3, 5), Партизанской (т. 62) и Куликова (т. 23). Во всех этих колодцах выявлено содержание нитратов, превышающее ПДК (табл. 1).

В ходе микробиологического анализа во всех пробах воды (кроме домашнего колодца по ул. Судзиловского, т. 83) была выделена бактерия *Clostridium Perfringens* (*Cl. Perfringens*) – возбудитель пищевых отравлений человека, один из возбудителей газовой гангрены. Это санитарно-показательный организм-индикатор,

Таблица 1. Результаты микробиологического анализа подземных вод пос. Листвянка**Table 1.** The results of microbiological analysis of groundwater in Listvyanka settlement

№ п/п	№ точки опробования	Показатель			NO ₃ ⁻ , мг/дм ³
		ОМЧ, КОЕ/1 мл	ОКБ, КОЕ/100 мл	ТКБ, КОЕ/100 мл	
1	22 (колодец общественный, ул. Горная)	Сплошной рост	Обнаружено	Обнаружено	54.23
2	22а (скважина, гостиница «Крестовая падь»)	50	Не обнаружено	Не обнаружено	39.84
3	5 (колодец общественный, ул. Чапаева)	Сплошной рост	Обнаружено	Обнаружено	127.17
4	3 (колодец общественный, ул. Чапаева)	Сплошной рост	Обнаружено	Обнаружено	249.02
5	62 (колодец общественный, ул. Партизанская)	Сплошной рост	Обнаружено	Обнаружено	26.56
6	66 (колодец домашний, ул. Партизанская)	62	Не обнаружено	Не обнаружено	49.80
7	23 (колодец общественный, ул. Куликова)	Сплошной рост	Обнаружено	Обнаружено	105.14
8	82 (колодец домашний, ул. Судзиловского)	74	Не обнаружено	Не обнаружено	75.25
9	83 (колодец домашний, ул. Судзиловского)	Сплошной рост	Не обнаружено	Не обнаружено	60.87
10	77а (колодец домашний, ул. Горького)	86	Не обнаружено	Не обнаружено	92.97
ПДК (для нецентрализованного водоснабжения)		Не более 100	Отсутствие в 100 мл	Отсутствие в 100 мл	45.00

Таблица 2. Изотопный состав подземных и поверхностных вод пос. Листвянка**Table 2.** Isotopic composition of groundwater and surface waters in Listvyanka settlement

№ точки, название	Водопункт	δ ¹⁸ O	δD	d _{exc}
22	колодец	-15.13	-113.52	7.49
23	колодец	-13.58	-110.01	-1.36
36	колодец	-14.95	-113.47	6.11
82/1	колодец	-15.31	-115.28	7.19
9	колодец	-14.48	-108.99	6.88
5	колодец	-12.84	-101.63	1.08
3	колодец	-13.30	-106.76	-0.33
62	колодец	-14.78	-115.18	3.04
65	колодец	-16.84	-126.40	8.33
река	Крестовка	-16.46	-121.85	9.81
ручей	Б. Черемшанка	-16.89	-125.83	9.28
ручей	М. Черемшанка	-16.32	-120.51	10.02
ручей	Сенной	-16.44	-123.85	7.70
ручей	Баный	-16.39	-122.29	8.79

используемый для оценки эффективности дезинфекции и процесса фильтрации. Кроме того, *Cl. Perfringens* благодаря своей сильной устойчивости к процессам дезинфекции и неблагоприятным условиям может быть индикатором фекального загрязнения в прошлом и указывать на риск периодического загрязнения воды.

Таким образом, микробиологические исследования питьевых вод источников нецентрализованного водоснабжения показали несоответствие качества исследованных вод в пяти водопунктах (общественных колодцах) поселка санитарным нормам и требованиям по эпидемиологическим показателям.

3.5. Изотопный состав подземных и поверхностных вод

Изотопный состав (δ¹⁸O и δD) подземных вод грунтового водоносного горизонта и вод руч. Большая и

Малая Черемшанка, Сенной и Баный, р. Крестовка изменяются в небольшом диапазоне: вариации δ¹⁸O составляют от -12.84 до -16.89 ‰; значения δD изменяются от -101.63 до -126.40 ‰ (табл. 2). На δD – δ¹⁸O диаграмме линия подземных вод несколько смещена вниз от глобальной линии метеорных вод (GMWL) и уравнение тренда имеет вид δD=5.5307·δ¹⁸O-31.815 (R²=0.92) (рис. 5, а). Угловый коэффициент в полученном уравнении меньше такового в зависимости GMWL (δD=8·δ¹⁸O+10). Это прямое влияние активного испарения, поскольку подземные воды, отобранные из колодцев с глубины 0.5–2.5 м, контактируют с атмосферным воздухом и подвергаются испарению, в процессе которого фракционирование изотопов приводит к изменению их содержания в воде.

Значения δ¹⁸O и δD в воде ручьев ложатся строго на линию GMWL и очень близки к изотопному составу атмосферных осадков Байкальского региона, что

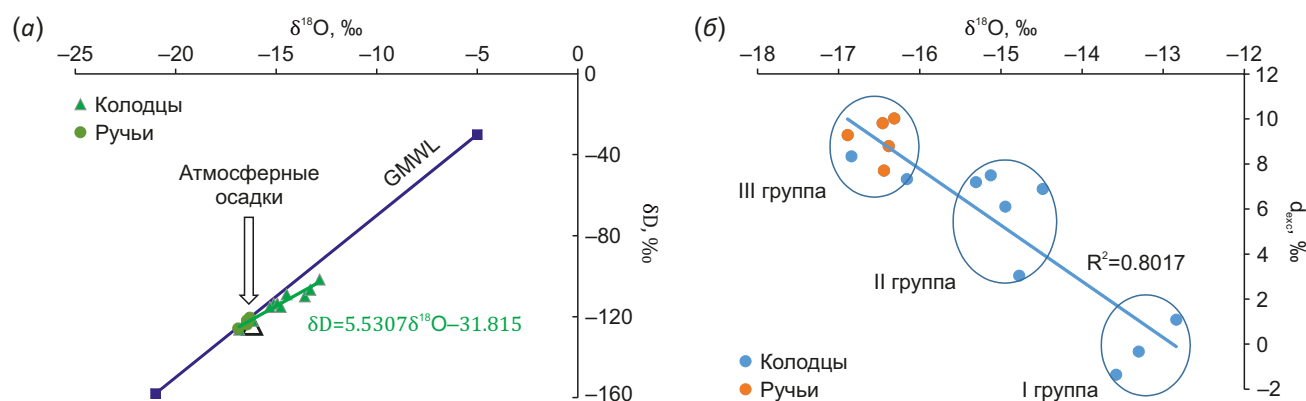


Рис. 5. Зависимость δD от $\delta^{18}O$ (а) и зависимость дейтериевого эксцесса от $\delta^{18}O$ (б) в подземных и поверхностных водах пос. Листвянка.

GMWL – глобальная линия метеорных вод; белый треугольник – значения δ для атмосферных осадков Байкальского региона ($\delta^{18}O = -16.2$, $\delta D = -124.1$ ‰) по данным [IAEA Global Network..., 2022]; R^2 – коэффициент достоверности аппроксимации тренда $d_{\text{exc}} - \delta^{18}O$.

Fig. 5. δD vs. $\delta^{18}O$ (a) and deuterium excess vs. $\delta^{18}O$ (b) in groundwater and surface waters of Listvyanka settlement.

GMWL is a global meteoric water line; white triangle shows δ values for precipitation in the Baikal region ($\delta^{18}O = -16.2$, $\delta D = -124.1$ ‰ according to the data [IAEA Global Network..., 2022]); R^2 is the confidence factor for the approximation of $d_{\text{exc}} - \delta^{18}O$ trend.

подтверждает питание поверхностных водотоков метеорной водой. Дейтериевый эксцесс ($d_{\text{exc}} = \delta D - 8\delta^{18}O$ по [Dansgaard, 1964]) принимает преимущественно положительные значения: от 1.08 до 10.02, за исключением двух колодцев (т.т. 3 и 23), где отмечен отрицательный d_{exc} , который обусловлен, вероятно, неравновесным фракционированием при испарении [Ekaikin, 2016]. Зависимость дейтериевого эксцесса от $\delta^{18}O$ (рис. 5, б) довольно четкая ($R^2 = 0.80$), причем для поверхностных вод значения d_{exc} максимальные (7.70–10.02), что однозначно указывает на открытость системы и более интенсивное их испарение по сравнению с подземными водами.

По величине эксцесса дейтерия выделяются три группы вод: I группа включает подземные воды с отрицательным и минимальным d_{exc} (от -1.36 до 1.08 ‰) и максимальными значениями $\delta^{18}O$ (от -12.84 до -13.58 ‰), в III группу входят в основном речные воды с максимальным дейтериевым эксцессом и наиболее легким кислородом-18. II группа – подземные воды с промежуточными значениями d_{exc} и $\delta^{18}O$ (рис. 5, б). Поскольку дейтериевый эксцесс характеризует степень неравновесности процессов испарения и конденсации и выражает избыток дейтерия по отношению к равновесному содержанию кислорода-18, можно предположить, что испарительное концентрирование тяжелых изотопов происходит с различной интенсивностью сезонно – в летний период – с открытого зеркала грунтового водоносного горизонта.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пятилетний мониторинг изменения качества подземных вод, используемых для питьевых целей, показал следующее:

1) макрокомпонентный состав и концентрация основного загрязнителя подземных вод – нитратов – в

опробованных водопунктах за пятилетний период изменились незначительно, а поступление поллютантов в грунтовые воды происходит неравномерно по площади, что связано с различной плотностью застройки территории поселка объектами туристической инфраструктуры (гостиницы, развлекательные центры, рестораны, рынки и др.);

2) среди микрокомпонентов содержание, превышающее ПДК для питьевых вод, зафиксировано для Mn и Fe и повышенное относительно фоновое – для Cu и Zn. Это может свидетельствовать о точечном попадании в подземные воды хозяйственно-бытовых стоков или остатков комплексных хелатных удобрений, активно применяющихся на приусадебных участках;

3) по эпидемиологическим показателям качество исследованных вод в пяти водопунктах (общественных колодцах) поселка не соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. В них обнаружены патогены, которые свидетельствуют о возможном фекальном загрязнении этих водопунктов, что создает потенциальную угрозу развития и распространения кишечных заболеваний;

4) относительные концентрации стабильных изотопов (D и ^{18}O), определенные для подземных и речных вод поселка, позволили получить уравнение связи $\delta D = 5.5307 \cdot \delta^{18}O - 31.815$ и значения эксцесса дейтерия, которые составляют для подземных вод от -1.36 до +8.33, для речных вод 7.70–10.02 ‰.

5. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

6. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

7. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Alekseev S.V., Alekseeva L.P., Alekseev V.R., Kononov A.M., Sholokhov P.A., 2016. Hydrogeological Conditions of Listvyanka Settlement. Geography and Natural Resources 6, 32–36 (in Russian) [Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Алексеев В.Р., Кононов А.М., Шолохов П.А. Гидрогеологические условия пос. Листвянка // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 32–36. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(32-36).

Alekseeva L.P., Alekseev S.V., Sholokhov P.A., Orgiliyanov A.I., Kononov A.M., 2016. Ground and Surface Waters Quality in the Krestovaya Valley (Listvyanka Settlement). Geography and Natural Resources 6, 37–42 (in Russian) [Алексеева Л.П., Алексеев С.В., Шолохов П.А., Оргильянов А.И., Кононов А.М. Качество подземных и поверхностных вод пади Крестовая (пос. Листвянка) // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 37–42. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(37-42).

Chebunina N.S., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Khodzher T.V., 2018. Dynamics of the Content of Mineral Forms of Nitrogen in Watercourses and Atmospheric Precipitation Listvyanka Settlement (South Baikal). The Bulletin of Irkutsk State University, Earth Sciences Series 24, 124–139 (in Russian) [Чебунина Н.С., Онищук Н.А., Нецветаева О.Г., Ходжер Т.В. Динамика содержания минеральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках поселка Листвянка (Южный Байкал) // Известия ИГУ. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 124–139]. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.3>.

Dansgaard W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation. Tellus 16 (4), 436–468. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v16i4.8993>.

Ekaikin A.A., 2016. Stable Isotopes of Water in Glaciology and Paleogeography: A Guidebook. Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, 62 p. (in Russian) [Екайкин А.А. Стабильные изотопы воды в гляциологии и палеогеографии: Методическое пособие. СПб.: ААНИИ, 2016. 62 с.].

Galazy G.I., Tarasova E.N., Lomonosov I.S., Sudakova N.D., Prokhovnik L.D., 2000. Sulfates as an Indicator of the BPPM Wastewaters in Lake Baikal. Water. In: Ecology and Technology. EcwaTech-2000. Collection of Abstracts of the Fourth International Congress (May 30 – June 2, 2000). Moscow, p. 617–618 (in Russian) [Галазий Г.И., Тарасова Е.Н., Ломоносов И.С., Судакова Н.Д., Проховник Л.Б. Сульфаты – индикатор сточных вод БЦБК в водах Байкала // Вода: экология и технология. ЭКВАТЭК-2000: Сборник тезисов Четвертого международного конгресса [30 мая – 2 июня, 2000]. М., 2000. С. 617–618].

GOST 2874-82. Drinking Water. Hygienic Requirements and Quality Control, 1997. Moscow, 10 p. (in Russian) [ГОСТ

2874-82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. М., 1997. 10 с.].

Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S., 2008. Environmental Geochemistry of Pribaikalye (Baikal Geoeological Test Site). GEO, Novosibirsk, 234 p. (in Russian) [Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.].

IAEA Global Network of Isotopes in Precipitation, 2022. GNIP Database. [МАГАТЭ. Глобальная сеть изотопов в осадках. База данных GNIP]. Available from: <https://www.iaea.org/services/networks/gnip> (Last Accessed August 19, 2022).

Kitaev N.A., Grebenshchikova V.I., Romanov V.A., Koveshnikov A.M., 1998. Distribution and Concentration Ratios of Gold in Rocks, Soils and Bottom Sediments of Pribaikalye. Russian Geology and Geophysics 39 (4), 457–468 (in Russian) [Китаев Н.А., Гребенщикова В.И., Романов В.А., Ковешников А.М. Распределение и соотношение концентраций золота в породах, почвах, донных осадках Прибайкалья // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 4. С. 457–468].

Koval P.V., Grebenshchikova V.I., Kitaev N.A., Koveshnikov A.M., Lustenberg E.E., Romanov V.A., Falileev A.N., 2000. Environmental Geochemistry of Pribaikalye. Russian Geology and Geophysics 41 (4), 571–577 (in Russian) [Коваль П.В., Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Ковешников А.М., Лустенберг Э.Е., Романов В.А., Фалилеев А.Н. Геохимия окружающей среды Прибайкалья // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 4. С. 571–577].

Koval P.V., Kitaev N.A., Vilyams D.F., Grebenshchikova V.I., Romanov V.A., 1993. The Isotopic Composition of Carbon in Soils and Bottom Sediments of River Valleys in Pribaikalye. Russian Geology and Geophysics 34(10–11), 217–225 (in Russian) [Коваль П.В., Китаев Н.А., Вильямс Д.Ф., Гребенщикова В.И., Романов В.А. Изотопный состав углерода почв и донных осадков речных долин Прибайкалья // Геология и геофизика. 1993. Т. 34. № 10–11. С. 217–225].

Koval P.V., Kuzmin M.I., 1994. The 1:1000000 Scale Multipurpose Geochemical Mapping (MGCHM-1000) as a Basis of Fundamental and Applied Regional Geochemical Studies (Baikal Geoeological Test Site). Abstracts of the IV Joint International Symposium on the Problems of Applied Geochemistry, Dedicated to the Memory of Academician L.V. Tauson. Vol. 2. LISNA, Irkutsk, p. 117–118 (in Russian) [Коваль П.В., Кузьмин М.И. Многоцелевое геохимическое картирование масштаба 1:1000000 (МГХК-1000) – основа фундаментальных и прикладных региональных геохимических работ (Байкальский геоэкологический полигон) // Тезисы докладов IV Объединенного международного симпозиума по проблемам прикладной геохимии, посвященного памяти академика Л.В. Таусона. Иркутск: ЛИСНА, 1994. Т. 2. С. 117–118].

Koval P.V., Udodov Yu.N., Andrulaitis L.D., Gapon A.E., Sklyarova O.A., Chernigova S.E., 2004. The Chemical Composition of Surface Runoff into Lake Baikal and Probable

Causes of Its Variation. In: The Current State of the Mountain-Surface and Underground-Mountain Hydrosphere. Mountain Ecosystems and Interiors. Proceedings of the First International Symposium. Nauka, Novosibirsk, p. 198–211 (in Russian) [Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д., Гапон А.Е., Склярова О.А., Чернигова С.Е. Химический состав поверхностного стока озера Байкал и возможные причины его вариаций // Современное состояние поверхностной и подземной гидросферы горных стран. Экосистемы и природные недра горных стран: Материалы Первого международного симпозиума. Новосибирск: Наука, 2004. С. 198–211].

Lomonosov I.S., Myasnikov A.A., Medvedev V.I., Korshunov L.G., 2002. The Efficiency of Geochemical Surveys of Pribaikalye and Transbaikalia. In: Applied Geochemistry. Iss. 3. IMGRE, Moscow, p. 570–591 (in Russian) [Ломоносов И.С., Мясников А.А., Медведев В.И., Коршунов Л.Г. Эффективность геохимических методов поисков в Прибайкалье и Забайкалье // Прикладная геохимия. М.: Изд-во ИМГРЭ, 2002. Вып. 3. С. 570–591].

Lomonosov I.S., Yanovsky L.M., Myasnikov A.A., Medvedev V.I., 2001. A Regional Ecological-Geochemical Mapping of Surface Waters in Pribaikalye (by the Example of Fluorine and Uranium). In: Applied Geochemistry. Iss. 2. IMGRE, Moscow, p. 253–268 (in Russian) [Ломоносов И.С., Яновский Л.М., Мясников А.А., Медведев В.И. Региональное эколого-геохимическое картирование поверхностных вод Прибайкалья (на примере фтора, урана) // Прикладная геохимия. М.: Изд-во ИМГРЭ, 2001. Вып. 2. С. 253–268].

Naprasnikova E.V., Vorobyova I.B., Vlasova N.V., Zakharova Yu.R., 2007. Sanitary and Ecological Assessment of Water in Wells on the Baikal Coast (Listvyanka Settlement). The Siberian Scientific Medical Journal 8, 63–65 (in Russian) [Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Захарова Ю.Р. Санитарно-экологическая оценка воды колодцев на побережье Байкала (п. Листвянка) // Сибирский научный медицинский журнал. 2007. № 8. С. 63–65].

Netsvetaeva O.G., Chipanina E.V., Obolkin V.A., Zimnik E.A., Sez'ko N.P., Lopatina I.N., Khodzher T.V., 2013. Peculiarities of Chemistry of Atmospheric Precipitations at Stations Listvyanka (Irkutsk Region) and Primorskaya (Primorye Territory). Atmospheric and Oceanic Optics 26 (6), 466–471 (in Russian) [Нецветева О.Г., Чипанина Е.В., Оболкин В.А., Зимник Е.А., Сезько Н.П., Лопатина И.Н., Ходжер Т.В. Особенности химии атмосферных осадков станций Листвянка (Иркутская область) и Приморская (Приморский край) в 2005–2011 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 6. С. 466–471].

Obolkin V.A., Netsvetaeva O.G., Golobokova L.P., Potemkin V.L., Zimnik E.A., Filippova U.G., Khodzher T.V., 2013. Results of Long-Term Investigations on Acid Deposition in the Area of South Baikal. Geography and Natural Resources 34 (2), 151–157 (in Russian) [Оболкин В.А., Нецветева О.Г.,

Голобокова Л.П., Потемкин В.Л., Зимник Е.А., Филиппова У.Г., Ходжер Т.В. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 66–73].

Pampura V.D., Sandimirov I.V., Lomonosov I.S., Gapon A.E., Ulybusheva E.I., Arsentyeva A.G., Popovskaya G.I., 1995. Geochemistry and Formation of the Uranium and Thorium Isotopic Composition in the Surface Waters of Lake Baikal Basin. Geochemistry International 12, 1800–1812 (in Russian) [Пампура В.Д., Сандимиров И.В., Ломоносов И.С., Гапон А.Е., Улыбушева Е.И., Арсентьева А.Г., Поповская Г.И. Геохимия и формирование изотопного состава урана и тория в поверхностных водах бассейна оз. Байкал // Геохимия. 1995. № 12. С. 1800–1812].

SanPiN 1.2.3685-21, 2021. Hygienic Standards and Requirements for Ensuring the Safety and (or) Harmlessness of Environmental Factors for Humans. Moscow, 975 p. (in Russian) [СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 975 с.].

SanPiN 2.1.4.1074-01, 2002. Drinking Water. Hygienic Requirements for the Quality of Water from Centralized Drinking Water Supply Systems. Quality Control. Hygienic Requirements for Ensuring the Safety of Hot Water Supply Systems. Moscow, 59 p. (in Russian) [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. М., 2002. 59 с.].

Shenkman B.M., 1990. Groundwater Background Pollution in Priangarye and Pribaikalye. In: Geochemistry of Technogenous Processes. Nauka, Moscow, p. 155–175 (in Russian) [Шенькман Б.М. Фоновые загрязнения подземных вод в Приангарье и Прибайкалье // Геохимия техногенных процессов. М.: Наука, 1990. С. 155–175].

Shpeizer G.M., Dedova L.I., Dyuberg V.M., Evsyutin A.G., Zhucheva T.V., Kuimova L.P., Lobkova L.I., Lomonosov I.S. et al., 1999. Monitoring of the Angara River Ecology and Water Quality. In: The State of the Angara River and Water Resources and Quality Management Methods. Proceedings of the First Scientific and Methodological Seminar (October 8–9, 1998, Irkutsk). Moscow Public Science Foundation, Moscow, p. 49–64 (in Russian) [Шпейзер Г.М., Дедова Л.И., Дюберг В.М., Евсютин А.Г., Жучева Т.В., Куимова Л.П., Лобкова Л.И., Ломоносов И.С. и др. Водно-экологический мониторинг и качество вод р. Ангары // Состояние р. Ангары и пути управления использованием водных ресурсов и их качеством: Материалы Первого научно-методического семинара (8–9 октября 1998 г., Иркутск). М.: Московский общественный научный фонд, 1999. С. 49–64].

Таблица 1.1. Содержание микрокомпонентов (мкг/дм³) в подземных и поверхностных водах пос. Листвянка
Table 1.1. Trace element content (µg/L) of groundwater and surface waters in Listvyanka settlement

Микро-компоненты	ПДК	23-а	22	79-а	27-а	5	9	7	36	83	57	52	69	62	64	65	66	р. Кре-стовка
Li	30.0	6.0	4.18	3.89	3.56	2.95	2.63	2.82	3.82	2.55	10.3	1.80	6.0	2.84	2.39	2.33	2.67	1.81
Be	0.2	0.0033	0.011	0.0027	0.011	0.0029	0.0056	0.0021	0.0096	0.020	0.0092	0.0034	0.0018	0.0044	0.0047	0.0072	0.008	0.021
B	500.0	11.8	44	6.8	11.0	26	45	7.9	41	69	42	22	5.3	30	29	22	30.12	10.9
Al	200.0	19	13.1	11.9	13.0	8.7	15	11.8	16	19	14.6	8.2	7.4	12.1	14.0	11.8	32.42	37
Si	20000	4290	8908	6711	6758	5078	8278	8680	6395	6909	6955	5179	3423	7107	7460	7333	7336	5353
P	3.5	80	166	113	81	68	105	87	90	373	390	98	116	70	145	110	188.35	90
Sc	–	0.027	0.031	0.018	0.021	0.031	0.028	0.028	0.029	0.037	0.034	0.033	0.039	0.030	0.025	0.033	0.03	0.034
Ti	100	0.98	0.57	0.56	0.47	0.29	0.89	0.47	0.37	0.57	1.72	0.27	0.37	0.37	0.80	0.42	2.99	1.54
V	100	1.06	0.64	0.12	0.67	0.20	0.80	3.91	0.61	1.42	2.08	0.23	0.25	0.80	0.77	0.60	0.74	0.29
Cr	500.0	0.12	0.33	0.099	0.14	0.15	0.49	0.61	0.26	0.27	0.35	0.19	0.063	0.44	0.45	0.62	0.68	0.27
Mn	100.0	12.2	91	51	4.98	0.99	2.28	0.66	3.02	26	338	2.95	7.8	1.63	1.21	0.68	3.22	25
Fe	300.0	55	12.9	89	36	9.8	18	11.2	104	136	704	31	26	14.4	12.4	9.0	50.17	139
Co	100.0	0.45	0.36	0.053	0.073	0.19	0.20	0.062	0.20	0.63	0.86	0.28	0.14	0.22	0.22	0.24	0.32	0.21
Ni	20.0	1.77	5.6	2.76	1.05	1.60	3.26	0.47	3.35	3.12	1.81	1.75	1.16	2.93	2.93	3.28	5.36	1.13
Cu	1000.0	8.6	4.82	2.36	2.68	2.91	4.55	1.92	4.99	6.9	0.87	8.3	1.15	3.48	3.64	3.31	111.45	2.41
Zn	5000	25	6.3	6.1	3.51	9.0	222	8.4	7.3	5.6	1.37	9.0	3.38	10.2	3.53	2.01	452.22	13.6
Ga	–	0.014	0.034	0.012	0.0098	0.0074	0.011	0.0078	0.011	0.039	0.060	0.0086	0.0096	0.0084	0.010	0.0088	0.02	0.019
Ge	–	0.021	0.028	0.088	0.016	0.021	0.017	0.025	0.019	0.062	0.12	0.023	0.015	0.014	0.014	0.012	0.014	0.013
As	10.0	0.27	0.20	<ПО	0.18	0.12	0.16	0.36	0.16	1.00	1.65	0.33	<ПО	0.13	0.16	0.12	0.15	0.16
Se	10	0.23	0.16	0.053	0.084	0.23	0.13	0.62	0.11	0.21	0.10	0.23	0.42	0.067	0.073	0.071	0.081	0.047
Br	200	43	21	17	12.3	54	31	25	35	34	26	44	30	9.9	11.7	12.4	14.54	10.1
Rb	100.0	2.87	0.28	6.6	1.33	0.19	0.41	4.32	0.41	2.24	5.5	0.18	3.44	0.26	0.27	0.25	0.72	0.75
Sr	7000.0	252	182	306	123	199	183	177	202	385	557	256	205	108	116	108	126.65	114
Y	–	0.050	1.05	0.042	0.23	0.19	0.16	0.075	0.28	0.88	0.44	0.24	0.014	0.32	0.41	0.38	0.46	0.30
Zr	–	0.037	0.073	0.042	0.14	0.034	0.088	0.027	0.12	0.18	0.26	0.029	0.013	0.052	0.053	0.052	0.076	0.18
Nb	10.0	0.0022	0.0027	0.0017	0.0051	0.0014	0.0047	0.0016	0.0043	0.015	0.030	0.0018	0.0012	0.0018	0.0035	0.0020	0.006	0.011
Mo	70.0	1.09	0.14	1.56	1.78	2.51	0.37	3.50	0.84	1.65	1.12	1.88	1.37	0.22	0.10	0.065	0.21	0.28

Таблица 1.1 (продолжение)

Table 1.1 (continued)

Микро-компоненты	ПДК	23-а	22	79-а	27-а	5	9	7	36	83	57	52	69	62	64	65	66	р. Крестовка
Ag	50.0	0.0022	0.011	0.0025	0.0032	0.0015	0.0088	0.0040	0.0037	0.0033	0.0018	0.0011	0.0031	0.0012	0.0029	0.0018	0.00	0.013
Cd	1.0	0.13	0.081	0.027	0.041	0.054	0.077	0.044	0.040	0.038	0.013	0.039	0.014	0.021	0.020	0.016	0.19	0.015
Sn	2000	0.14	0.085	0.066	0.058	0.043	0.060	0.036	<ПО	<ПО	0.090	<ПО	<ПО	0.072	0.039	<ПО	0.12	0.042
Sb	5.0	0.058	0.065	0.033	0.043	0.042	0.074	0.034	0.088	0.95	0.18	0.074	0.025	0.054	0.064	0.041	0.15	0.074
Cs	–	0.051	0.010	0.034	0.0050	0.0053	0.0075	0.055	0.0069	0.0058	0.012	0.0023	0.032	0.0024	0.0024	0.0016	0.0063	0.0074
Ba	700.0	7.0	79	20	16	69	61	8.0	42	83	43	35	7.6	92	99	83	75	17
Hf	–	0.0014	0.0037	0.0010	0.0050	0.0013	0.0029	0.0010	0.0047	0.0077	0.0059	0.0008	<ПО	0.0021	0.0024	0.0029	0.0028	0.0066
Ta	–	0.0002	0.0009	0.0006	0.0005	0.0004	0.0005	0.0006	0.0004	0.0011	0.0007	0.0004	0.0006	0.0003	0.0005	0.0005	0.0009	0.0008
W	50.0	0.078	0.022	0.25	0.011	<ПО	0.015	0.22	<ПО	0.044	0.39	0.23	0.13	0.11	<ПО	0.27	0.20	0.056
Re	–	0.015	0.0026	0.0030	0.0015	0.0042	0.0020	0.0061	0.0015	0.0048	0.0017	0.0036	0.0068	0.0027	0.0030	0.0030	0.0031	0.0014
Tl	0.1	0.0076	0.0033	0.0029	0.0030	0.0024	0.0042	0.0043	0.0032	0.0032	<ПО	0.0017	0.0033	0.0025	0.0021	0.0027	0.0072	0.0028
Pb	30.0	1.05	0.26	0.29	0.22	0.18	0.23	0.29	0.078	0.11	0.080	0.10	0.057	0.12	0.15	0.083	1.65	0.15
Bi	100	0.0055	0.0064	0.0042	0.0051	0.0055	0.0054	0.0045	0.0044	0.0038	0.0047	0.0039	0.0044	0.0040	0.0039	0.0046	0.0084	0.0059
Th	–	0.0036	0.0060	0.0073	0.010	0.0044	0.011	0.0038	0.015	0.019	0.025	0.0023	0.0020	0.010	0.0092	0.0091	0.013	0.045
U	15	1.91	0.027	0.15	2.48	8.2	0.29	6.8	2.78	0.66	0.49	5.9	2.19	0.056	0.022	0.020	0.034	0.21

Примечание. Красным жирным шрифтом показано содержание компонентов, превышающее ПДК, черным жирным шрифтом – повышенная концентрация относительно фоновых значений. ПДК – предельно допустимая концентрация по [GOST..., 1997; SanPiN..., 2021]; ПО – предел обнаружения.

Note. Bold red indicates the component content exceeding the MPC, black bold indicates concentrations elevated relative to background values. MPC is the maximum permissible concentration according to [GOST..., 1997; SanPiN..., 2021]; DL is a detection limit.