

**С.В. АЛЕКСЕЕВ\***, **\*\***, **Л.П. АЛЕКСЕЕВА\***, **\*\***, **П.А. ШОЛОХОВ\***, **\*\***,  
**А.И. ОРГИЛЬЯНОВ\***, **\*\***, **А.М. КОНОНОВ\***, **\*\***

\*Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, salex@crust.irk.ru, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

\*\*Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, salex@crust.irk.ru, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

### **КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В РАЙОНЕ ПОС. ЛИСТВЯНКА (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗ. БАЙКАЛ)**

*Представлены сведения о качественном состоянии подземных вод на территории пос. Листвянка, которые используются местным населением для водоснабжения. Развитие индустрии туризма в Байкальском регионе сопряжено с техногенным воздействием на экосистему оз. Байкал, изменением естественных ландшафтов, ухудшением состояния наземной и подземной гидросферы. На основе детального гидрогеологического опробования 106 водоупунктов в падах и распадках поселка выявлены участки загрязненных подземных вод. Установлено, что в пределах пади Сенная подземные воды в целом хорошего качества и пригодны для питьевых нужд. В пади Банная, где основной дренаж является одноименный ручей, содержание нитратов немного повышено относительно фоновых значений, т. е. в колодцы и скважины поступают загрязненные воды. В пади Крестовая зафиксировано наибольшее количество водоупунктов (в основном общественных колодцев) с загрязненными подземными водами. В пади Малая Черемшанка воды загрязнены нитратами, содержание которых превышает требования санитарных норм в 1,1–2,5 раза. В пади Большая Черемшанка в подземной воде одного колодца и одной скважины также обнаружено повышенное содержание нитратов. Содержание нитратов в подземных водах пади Березовой в 2,5–2,9 раза превышает допустимую концентрацию. Основными источниками загрязнения подземных вод служат бытовые стоки многочисленных гостиничных комплексов, расположенных в днищах долин и по бортам распадков. В целом содержание нормируемых компонентов (нитраты, аммоний и кремний) в подземных водах пос. Листвянка не превышает предельно допустимых концентраций для питьевых вод.*

Ключевые слова: подземные воды, химический состав воды, нитраты, нитриты, фосфаты, предельно допустимая концентрация.

**S.V. ALEKSEEV\***, **\*\***, **L.P. ALEKSEEVA\***, **\*\***, **P.A. SHOLOKHOV\***, **\*\***,  
**A.I. ORGILYANOV\***, **\*\***, **A.M. KONONOV\***, **\*\***

\*Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 134, Russia, salex@crust.irk.ru, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

\*\*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 128, Russia, salex@crust.irk.ru, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

### **THE GROUNDWATER AND SURFACE WATER QUALITY IN THE AREA OF THE SETTLEMENT OF LISTVYANKA**

*Presented is the evidence concerning the groundwater and surface water quality on the territory of the settlement of Listvyanka which are used by the local population for water supply. The development of the tourism industry in the Baikal region leads to the anthropogenic impact on the Lake Baikal ecosystem and to changes in natural landscapes as well as deteriorating the state of the terrestrial and underground hydrosphere. Detailed hydrogeological sampling of 106 boreholes and wells in the pad's and narrow valleys of the settlement revealed areas of polluted groundwater. It is established that groundwater within the Sennaya pad' is generally of good quality and suitable for drinking purposes. In the Bannaya pad' where the brook of the same name is the main drain, nitrate content slightly exceeds the background values. The Krestovaya pad' showed the largest number of groundwater sources (mainly public wells) with polluted groundwater. In the Malaya Cheremshanka pad', the waters are polluted by nitrates, and their content exceeds the requirements laid down in health standards by a factor of 1.1–2.5. In the Bol'shaya Cheremshanka pad', increased contents of nitrates were also recorded in groundwater from one well and one borehole. Groundwater from the Berезovaya pad' contains nitrates exceeding by a factor of 2,5–2,9 the permissible concentration. The*

*main pollution source of groundwater is domestic sewage from the numerous hotel complexes located along the valley bottoms and the sides of narrow valleys. On the whole, the content levels of standardized components (nitrates, ammonium and silicon) in groundwater of Listvyanka do not exceed the threshold level value for drinking water.*

Keywords: groundwater, water chemical composition, nitrate, nitrite, phosphate, threshold level value.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы пос. Листвянка стал самым посещаемым местом на оз. Байкал. Поселок имеет хорошо развитую инфраструктуру с многочисленными объектами 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 (пород, почв, донных осадков, поверхностных вод) Байкальского геоэкологического региона с целью выявления влияния экологически значимых химических элементов на окружающую природную среду и здоровье населения ведутся с 1990-х гг. в рамках опытно-производственных, опытно-методических и научно-исследовательских проектов [1–12]. Однако систематического мониторинга химического состава подземных вод, испытывающих существенную антропогенную нагрузку, до сих пор нет.

Согласно оценке санитарно-экологического состояния колодезной воды пос. Листвянка, бактериологические показатели воды большинства колодцев в 2007 г. не отвечали санитарным нормам, однако химический состав воды соответствовал ГОСТу [13]. В связи с этим в 2016, 2018 гг. выполнено детальное гидрогеологическое опробование 106 водопунктов — общественных и частных колодцев (30), скважин (57), источников подземных вод (2), р. Крестовки и ручьев Сеннушка, Банный, Большая и Малая Черемшанка (17). Целью исследования было получение информации о качественном состоянии подземных вод поселка, используемых населением для питьевого водоснабжения, и выявление участков загрязненных подземных и поверхностных вод. Одновременно с помощью портативных приборов были измерены температура, рН, Eh и электропроводность воды, уровень воды в колодцах, отобраны пробы воды для полного химического анализа. На оборудованных гидрометрических створах была замерена скорость течения воды в реке для расчета ее расхода. В лабораторных условиях определено содержание следующих компонентов:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $H_4SiO_4$ ,  $HPO_4^{2-}$ , а также рН, удельный вес и минерализация воды.

Для оценки качества природных вод были использованы ГОСТ 2874–82 [14] и СанПиН 2.1.4.1074–01 [15].

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Поселок 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 эрозионным 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.

В долинах рек, дренирующих пади и распадки, распространены четыре типа подземных вод — порово-пластовые аллювиальных отложений, порово-трещинные элювиально-делювиальных отложений, трещинно-пластовые юрских отложений и трещинные метаморфических и кристаллических пород [16].

*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 времени выпадения атмосферных осадков, интенсивности сезонного промерзания водовмещающих пород. Разгрузка происходит на перегибах продольного профиля долины или в результате перемерзания водоподводящих каналов.

*Порово-трещинные воды элювиально-делювиальных отложений* распространены повсеместно на склонах и пологих водораздельных пространствах, залегают на глубине 0,5–3 м. Они чаще всего встречаются в виде верховодки, питаются за счет атмосферных осадков и вытравивающих 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 и обычно контролируются разрывными нарушениями.

Трещинные воды метаморфических и кристаллических пород архея и протерозоя встречаются в пределах горных массивов. 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 образуют источники на дневной поверхности или разгружаются субаквально в днища падей и распадков на перегибах продольного профиля долин, у подножий склонов.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Вся хозяйственная деятельность сосредоточена в падах и распадках, в пределах которых и было проведено обследование подземных и поверхностных вод. В пади Сенная (рис. 1), приуроченной к долине ручья Сеннушка, опробованы подземные воды в трех частных скважинах и двух общественных колодцах (по ул. Суворова). Скважины глубиной от 17 до 26 м вскрывают толщу аллювиальных чет-

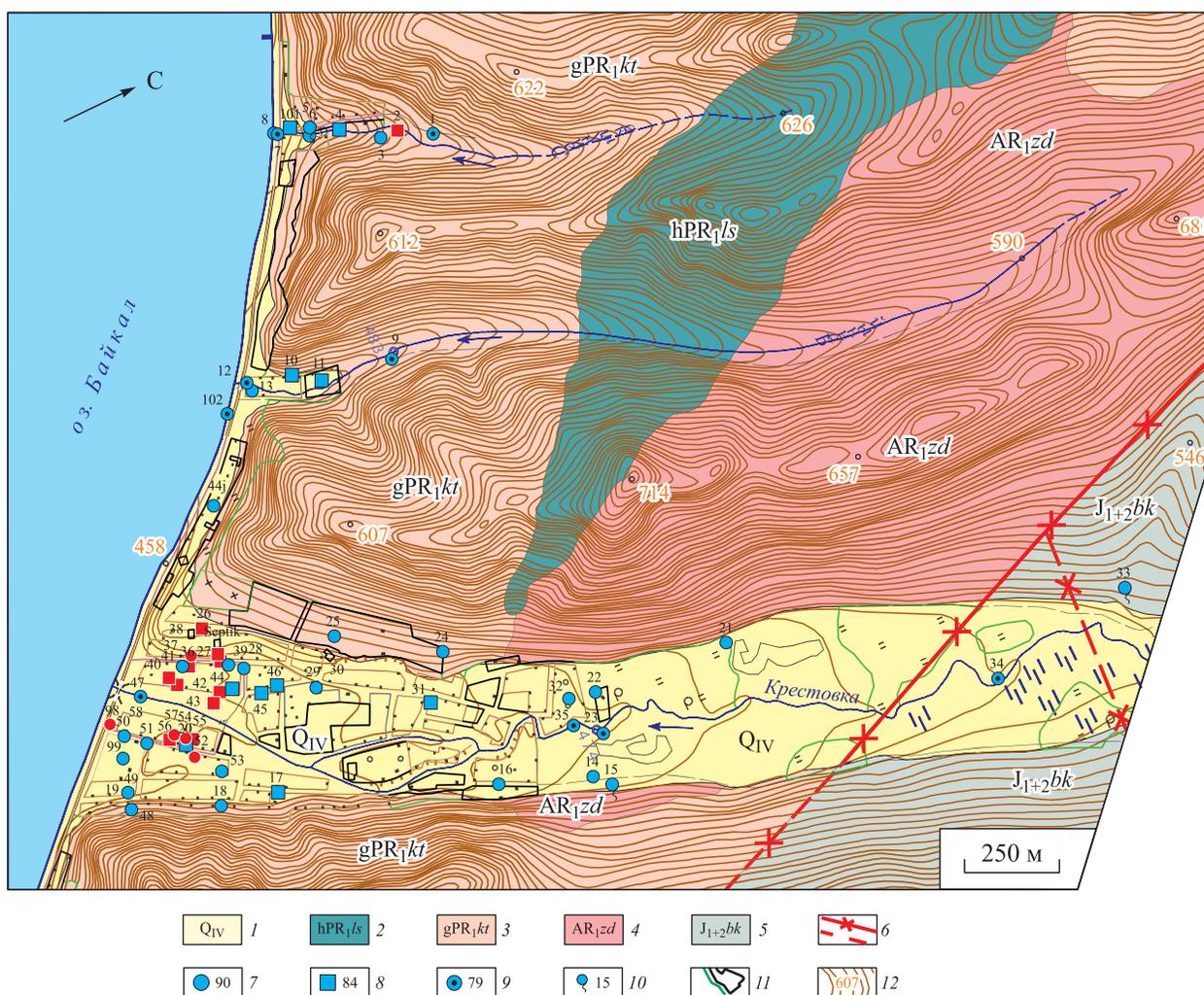


Рис. 1. Схематическая гидрогеологическая карта пос. Листвянка (пади Сенная, Банная и Крестовая).

Подземные воды: 1 — четвертичных отложений, 2 — протерозойского комплекса (листвянкинская свита), 3 — протерозойского комплекса (китойская свита), 4 — архейского комплекса (жидойская свита), 5 — юрского комплекса (байкальская свита). 6 — разрывные нарушения. Водопункты: 7 — скважина и ее номер, 8 — колодец и его номер, 9 — точка опробования речных вод и ее номер, 10 — родник и его номер. Красным цветом показаны водопункты, в которых содержание некоторых компонентов превышает ПДК, синим — не превышает. 11 — контур застроенной и освоенной территории; 12 — изолинии рельефа поверхности.

вертичных отложений, вмещающих подземные воды сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого типа<sup>1</sup> с минерализацией 185–210 мг/дм<sup>3</sup>, околонеutralной средой (рН 6,7–7,3), хорошего качества: все нормируемые компоненты не превышают предельно допустимой концентрации (ПДК) для питьевых вод. Окислительно-восстановительный потенциал воды (Eh) положительный (>100 мВ), что свидетельствует об окислительной обстановке. Только в одном случае (скважина по ул. Суворова, 12) зафиксирован отрицательный Eh (–129 мВ), что проявилось также в отчетливом запахе сероводорода и железа. В колодцах (глубиной 3,2–4,2 м) вода относится к тому же гидрогеохимическому типу, отмечается небольшое содержание нитратов (до 13,3 мг/дм<sup>3</sup>), не превышающее ПДК. Кроме того, опробована вода в ручье на двух участках — в верхнем течении (где начинается освоенная территория) и в устье (в месте впадения в оз. Байкал). Минерализация воды изменяется незначительно — от 145 до 200 мг/дм<sup>3</sup> — за счет небольшого роста содержания гидрокарбонат- и нитрат-иона (до 10 мг/дм<sup>3</sup>). В целом подземные воды в пади Сенная хорошего качества и пригодны для питьевых нужд.

В пади Банная, где основной дренажной является одноименный ручей, отобраны пробы воды из двух колодцев, скважины и устья ручья (по ул. Лазо). Подземные воды четвертичных отложений и поверхностные воды пади — гидрокарбонатные магниево-кальциевые с минерализацией 128–305 г/дм<sup>3</sup>, рН 6,6–7,0. Содержание компонентов подземных вод удовлетворяет требованиям ПДК для питьевых вод, однако концентрация нитратов (6–13 мг/дм<sup>3</sup>) немного повышена относительно значений NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в водах ручья, что свидетельствует о поступлении загрязненных вод в колодцы и скважины.

В пределах пади Крестовая, наибольшей по площади и самой освоенной в пределах пос. Листвянка, опробованы 21 скважина, 18 колодцев (частных и общественных), два источника подземных вод и устроены три гидрометрических створа на р. Крестовке для измерения расхода воды в реке. Гидрогеохимический анализ показал, что в целом в пади распространены подземные воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого (или кальциево-магниевого) геохимического типа. Их минерализация изменяется в пределах 193–514,5 мг/дм<sup>3</sup>, рН — от 6 до 8 (околонеutralная среда), Eh — от –175 до 178 мВ (обстановка от восстановительной до окислительной), естественная температура воды низкая — 0,9–7,5 °С. Источники подземных вод, расположенные в основании левого (точка опробования речных вод 15) и правого (точка 33) склонов долины Крестовки (см. рис. 1), дренируют массив кристаллических пород архейского и юрского комплексов. Минерализация вод — очень низкая (71–73 мг/дм<sup>3</sup>), подобно минерализации речных вод, ионно-солевой состав отличается повышенным содержанием сульфатов среди анионов и магния среди катионов до преобладания этих компонентов в составе воды источника (точка 15).

Локальной дренажной пади Крестовая является р. Крестовка, которая образуется слиянием двух притоков — Большой (левой) и Малой (правой) Крестовки. По составу речная вода сульфатно-гидрокарбонатная магниево-кальциевая с минерализацией 71–84 мг/дм<sup>3</sup>, средняя температура воды — 6 °С. На трех организованных створах (точки 34, 35 и 47), находящихся в 1100 м друг от друга, определен расход воды реки: 0,546 м<sup>3</sup>/с — верхний створ (51°51'918" с. ш. 104°52'183" в. д., в 2300 м от уреза оз. Байкал); 0,637 м<sup>3</sup>/с — средний створ (51°52'441" с. ш. 104°52'458" в. д.) и 0,707 м<sup>3</sup>/с — нижний створ (51°51'355" с. ш. 104°51'652" в. д., в 80 м от уреза оз. Байкал). Увеличение расхода воды в русле реки составляет в среднем 0,08 м<sup>3</sup>/с. Закономерное приращение расхода воды вниз по течению свидетельствует о преимущественном питании Крестовки подземными водами на этом участке (отсутствуют притоки).

В пади Крестовая зафиксировано наибольшее количество водопунктов (в основном общественных колодцев) с загрязненными подземными водами [18].

Падь Малая Черемшанка расположена в долине одноименного ручья (рис. 2). Застроенные участки приурочены главным образом к области распространения протерозойских пород. Глубокими скважинами (точки 59, 65, 68, 69, глубина 67–87 м) вскрываются трещинно-жильные воды, дренирующие разломную зону в кристаллическом комплексе архея, или трещинно-пластовые воды юрских отложений. Напорные подземные воды имеют гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав с минерализацией 193–227 мг/дм<sup>3</sup>, отмечается постоянный или временный запах сероводорода (Eh до –177 мВ) и повышенное содержание Fe<sup>3+</sup> (до 0,6 мг/дм<sup>3</sup>). В общественные колодцы по ул. Чапаева (с уровнем воды 4–7 м), расположенные ниже по течению ручья в сторону оз. Байкал, также, по-

<sup>1</sup> Наименование ионно-солевого состава подземных вод дается в виде двух самостоятельных прилагательных: первое — для анионов, второе — для катионов. В сложном прилагательном компоненты располагаются по принципу «оттенок—цвет», т. е. по возрастанию их содержания: преобладающий ион стоит в конце сложного прилагательного и определяет название химического типа воды [17].

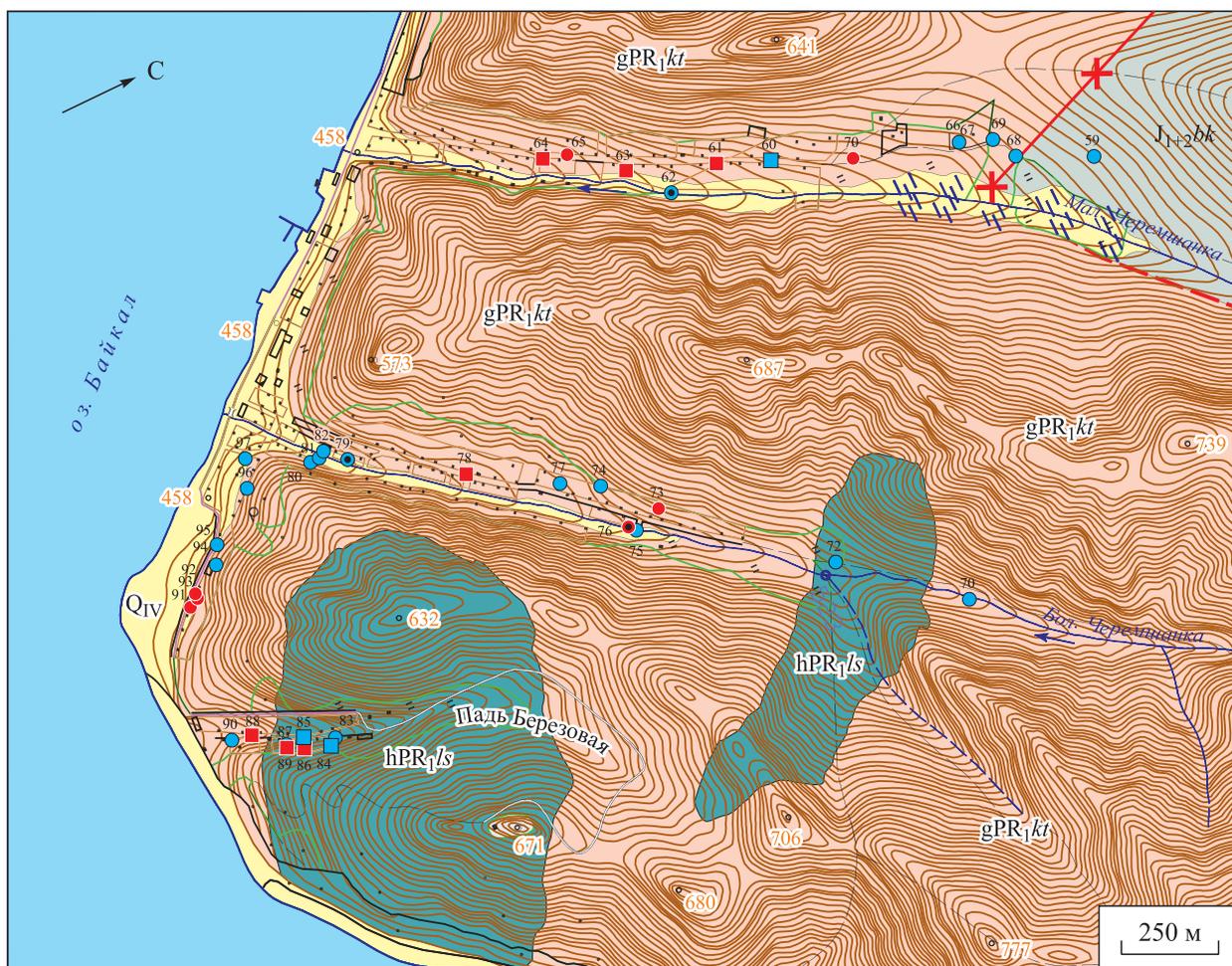


Рис. 2. Схематическая гидрогеологическая карта пос. Листвянка (пади Малая Черемшанка, Большая Черемшанка и Березовая).

Усл. обозн. — см. рис. 1.

видимому, поступают подземные воды протерозойского комплекса. По составу воды сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 330–502 мг/дм<sup>3</sup>, однако по состоянию на июнь 2016 г. они загрязнены нитратами, содержание которых превышает требования санитарных норм в 1,1–2,5 раза (см. таблицу).

В пади Большая Черемшанка опробованы восемь скважин и один колодец по ул. Гудина, а также воды ручья Большая Черемшанка на трех участках русла. Скважинами глубиной 40–60 м (точки 72, 80, 82) вскрываются подземные воды, залегающие в юрских конгломератах. По химическому составу вода гидрокарбонатная магниевое-кальциевая с минерализацией 230–337 мг/дм<sup>3</sup>, pH ≈ 7,0 и характерной окислительной обстановкой (Eh до 142 мВ). В общественном колодце (точка 78) уровень подземных вод установился на глубине 4,4 м, температура воды 3,2 °С. По составу вода гидрокарбонатная магниевое-кальциевая с минерализацией 470 мг/дм<sup>3</sup> и повышенным содержанием нитратов. Анализ воды ручья в трех точках показал, что состав воды сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый и минерализация изменяется от 113 мг/дм<sup>3</sup> (точка 71, в верхнем течении) до 144 мг/дм<sup>3</sup> (точка 76, в среднем течении) и до 161 мг/дм<sup>3</sup> (точка 79, в 300 м от уреза оз. Байкал).

Падь Березовая расположена в восточной части пос. Листвянка. Подземные воды здесь опробованы в четырех колодцах и четырех скважинах по ул. Партизанской. Скважины глубиной от 57 до 130 м вскрывают трещинные воды протерозойских кристаллических пород. Вода по составу гидрокарбонатная магниевое-кальциевая с минерализацией 272–325 мг/дм<sup>3</sup>, pH 7,5–7,9 и окислительной обстановкой (Eh = 106–136). В колодцах уровень воды находится на глубине 2,5–4,5 м, температура

## Химический состав загрязненных подземных вод в колодцах и скважинах пос. Листвянка

Номер точки, водопункт	Адрес	рН и температура воды*	Химический состав воды (формула Курлова)	Содержание компонента и превышение ПДК**	
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	2	3	4	5	6
Падь Крестовая					
22-г, колодец	ул. Горная, 12	6,0 1,5	M390 $\frac{\text{HCO}_3\text{22 Cl30 SO}_4\text{17}}{\text{Ca50 Mg33 Na14}}$	1,5 -***	90,8 2,0
23-к, колодец	ул. Куликова, 14	6,7 0,9	M404 $\frac{\text{HCO}_3\text{35 Cl32 SO}_4\text{17}}{\text{Ca47 Mg36 Na14}}$	<0,1 -	50,3 1,1
31-к, колодец	ул. Куликова, 8а	6,6 7,5	M507 $\frac{\text{HCO}_3\text{47 Cl25 SO}_4\text{15}}{\text{Ca41 Mg26 Na19}}$	12,5 6,3	50,9 1,1
35-к, колодец	ул. Кузнецова, 3	6,8 3,4	M450 $\frac{\text{HCO}_3\text{39 Cl24 SO}_4\text{16}}{\text{Ca50 Mg33 Na15}}$	<0,1 -	77,5 1,7
36-к, колодец	ул. Кузнецова, 5	7,2 1,4	M458 $\frac{\text{HCO}_3\text{34 Cl17 SO}_4\text{16}}{\text{Ca49 Mg31 Na17}}$	<0,1 -	121,7 2,7
37-к, колодец	ул. Кузнецова, 15	6,7 4,0	M420 $\frac{\text{HCO}_3\text{43 Cl17 SO}_4\text{16}}{\text{Ca54 Mg31 Na12}}$	<0,1 -	78,6 1,7
81-с/2, колодец	ул. Судзиловского, 11	6,4 2,2	M1145 $\frac{\text{Cl154 SO}_4\text{13 HCO}_3\text{9}}{\text{Ca41 Na33 Mg24}}$	<0,1 -	265,6 5,9
81-с/1, колодец	ул. Судзиловского, 9	6,4 4,4	M515 $\frac{\text{HCO}_3\text{28 Cl22 SO}_4\text{18}}{\text{Ca51 Mg26 Na20}}$	<0,1 -	1322,9 2,6
83-с, колодец	ул. Судзиловского, 3	6,4 1,9	M309 $\frac{\text{HCO}_3\text{29 Cl28 SO}_4\text{20}}{\text{Ca52 Mg30 Na21}}$	<0,1 -	55,3 1,1
79-с, скважина	ул. Судзиловского, 18	6,6 4,2	M241 $\frac{\text{HCO}_3\text{46 SO}_4\text{30 Cl24}}{\text{Ca58 Mg26 Na13}}$	<0,1 -	49,8 1,1
Падь Малая Черемшанка					
3-ч, колодец	ул. Чапаева, 34	6,5 2,7	M502 $\frac{\text{HCO}_3\text{29 SO}_4\text{23 Cl23}}{\text{Ca47 Mg31 Na21}}$	<0,1 -	110,7 2,5
5-ч, колодец	ул. Чапаева, 50	7,1 1,9	M486 $\frac{\text{HCO}_3\text{35 SO}_4\text{22 Cl19}}{\text{Ca58 Mg28 Na12}}$	<0,1 -	99,6 2,2
6-ч, колодец	ул. Чапаева, 42	6,6 1,8	M335 $\frac{\text{HCO}_3\text{43 Cl22 SO}_4\text{18}}{\text{Ca39 Mg30 Na29}}$	<0,1 -	48,7 1,1
7-ч, скважина	ул. Чапаева, 37	7,6 6,0	M486 $\frac{\text{HCO}_3\text{58 SO}_4\text{16 Cl19}}{\text{Ca50 Mg47}}$	<0,1 -	66,4 1,5
9-ч, скважина	ул. Чапаева, 33	6,7 8,4	M486 $\frac{\text{HCO}_3\text{63 SO}_4\text{14 Cl8}}{\text{Ca52 Mg43}}$	<0,1 -	57,6 1,3
49-ч, скважина	ул. Чапаева, 73	6,0 4,9	M313 $\frac{\text{Cl25 HCO}_3\text{22 SO}_4\text{9}}{\text{Ca55 Mg27 Na16}}$	0,9 -	110,7 2,5
Падь Большая Черемшанка					
52-гуд, скважина	ул. Гудина, 91/2	7,1 13,2	M556 $\frac{\text{HCO}_3\text{40 Cl37 SO}_4\text{9}}{\text{Ca58 Mg29 Na12}}$	<0,1 -	68,6 1,5
57-гуд, колодец	ул. Гудина, 60	7,1 3,2	M470 $\frac{\text{HCO}_3\text{43 Cl21 SO}_4\text{16}}{\text{Ca50 Mg34 Na14}}$	<0,1 -	73,1 1,6
Падь Березовая					
64-п, колодец	ул. Партизанская, 12	6,3 4,1	M367 $\frac{\text{HCO}_3\text{24 Cl21 SO}_4\text{16}}{\text{Ca55 Mg32 Na12}}$	<0,1 -	110,7 2,5
65-п, колодец	ул. Партизанская, 10	6,2 3,5	M370 $\frac{\text{Cl21 SO}_4\text{21 HCO}_3\text{19}}{\text{Ca56 Mg32 Na11}}$	<0,1 -	115,1 2,6
66-п, колодец	ул. Партизанская, 6	6,2 8,0	M362 $\frac{\text{Cl19 HCO}_3\text{19 SO}_4\text{18}}{\text{Ca55 Mg32 Na12}}$	<0,1 -	128,4 2,9

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6
Набережная Байкала					
69-г, скважина	ул. Горького, 133/2	7,7 6,2	M571 $\frac{\text{HCO}_3 42 \text{ Cl} 20 \text{ SO}_4 19}{\text{Ca} 59 \text{ Mg} 35}$	<0,1 -	88,5 2,0
70-г, скважина	ул. Горького, 131	7,2 6,7	M1062 $\frac{\text{Cl} 33 \text{ HCO}_3 31 \text{ SO}_4 20}{\text{Ca} 59 \text{ Na} 21 \text{ Mg} 20}$	<0,1 -	141,7 3,1
71-г, скважина	ул. Горького, 133	7,3 5,9	M768 $\frac{\text{HCO}_3 33 \text{ Cl} 30 \text{ SO}_4 17}{\text{Ca} 59 \text{ Na} 21 \text{ Mg} 20}$	<0,1 -	132,8 3,0

\* В числителе — pH, в знаменателе — T, °C.

\*\* В числителе — содержание компонента, мг/дм<sup>3</sup>, в знаменателе — превышение ПДК, число раз.

\*\*\* Прочерк — нет превышения ПДК.

воды 3,5–5,2 °C. В анионном составе подземных вод доля гидрокарбонат-, хлор- и сульфат-ионов примерно одинаковая (16–23 %-экв.), в катионном составе доминирует кальций, однако содержание магния и натрия существенно увеличивается — до 32 и 12 %-экв. соответственно. Кроме того, концентрация нитратов превышает ПДК в 2,5–2,9 раза (см. таблицу).

На набережной Байкала (ул. Горького), протянувшейся вдоль всего пос. Листвянка, опробовано девять скважин (как частных, так и принадлежащих рынку, турбазе, гостинице, кафе). Глубина скважин — от 7 до 87 м, они вскрывают воду, по-видимому, различных водоносных горизонтов. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, только в одной скважине (точка 95) среди анионов превалирует хлор — более 50 %-экв. Минерализация подземных вод составляет 200–500 мг/дм<sup>3</sup>. Однако в трех скважинах (точки 91–93) минерализация повышена за счет большого содержания нитратов.

### ЗАГРЯЗНЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

В целом содержание нормируемых компонентов в подземных водах пос. Листвянка не превышает ПДК для питьевых вод. Исключение составляют 16 колодцев и 8 скважин (см. таблицу), в которых зафиксировано загрязнение. Основные загрязняющие компоненты — нитраты, аммоний и кремний, а их источниками служат бытовые стоки многочисленных гостиничных комплексов, расположенных в днищах долин и по бортам распадков. Из неправильно оборудованных септиков стоки инфильтруются через маломощную грунтовую толщу или в результате переливов попадают в водоносный горизонт аллювиальных отложений — основной поставщик питьевой воды для колодцев и большинства скважин.

*Азотсодержащие соединения* содержатся практически во всех водах, что свидетельствует о наличии в них органического вещества животного происхождения. Эти соединения, продукты распада органических примесей, образуются в воде преимущественно в результате разложения мочевины и белков, поступающих с бытовыми сточными водами. Нитраты NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, нитриты NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и аммонийные соли NH<sub>4</sub><sup>+</sup> находятся в поверхностных и подземных водах в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии и могут под влиянием физико-химических и биохимических факторов переходить из одного состояния в другое. По наличию, количеству и соотношению в воде азотсодержащих соединений можно судить о степени и давности заражения воды продуктами жизнедеятельности человека. Повышенная концентрация ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее фекальное загрязнение. Отсутствие в воде аммиака и нитритов и в то же время наличие нитратов свидетельствует о том, что загрязнение подземных или поверхностных вод произошло давно и впоследствии вода подверглась самоочищению. Основные источники поступления ионов аммония в водные объекты — животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности. Употребление воды с повышенным содержанием нитритов и нитратов приводит к нарушению окислительной функции крови. Предельно допустимая концентрация NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — не более 2 мг/дм<sup>3</sup>, нитритов — 3 мг/дм<sup>3</sup>, нитратов — 45 мг/дм<sup>3</sup>.

Повышенная концентрация нитратов и ионов аммония в воде девяти колодцев и одной скважины в пади Крестовая — индикаторный показатель, отражающий ухудшение санитарного состояния этих водопунктов и загрязнение подземных вод, в первую очередь бытовыми и сельскохозяйственными стоками. Содержание нитратов в подземных водах выше ПДК зафиксировано в колодцах по улицам Горной, Куликова, Кузнецова, Судзиловского. Наибольшая концентрация нитратов установлена в воде колодца на ул. Судзиловского, 11, —  $265,6 \text{ мг/дм}^3$  (5,9 ПДК). В других колодцах и одной скважине (на ул. Судзиловского, 18) нитратов в воде содержится от 49,8 до  $132,8 \text{ мг/дм}^3$  (ПДК превышена в 1,1–2,6 раза). В воде колодца на ул. Куликова, 8а, кроме высокого содержания нитратов ( $50,9 \text{ мг/дм}^3$  — 1,1 ПДК), обнаружено превышение ПДК по аммонии в 6,3 раза ( $12,5 \text{ мг/дм}^3$ ).

В пади Малая Черемшанка загрязнены воды трех колодцев и трех скважин. Основное загрязняющее вещество — нитраты. Наибольшее содержание их обнаружено в колодцах по ул. Чапаева, 34 и 50, и в скважине по ул. Чапаева, 73, — превышение ПДК в 2,5 и 2,2 раза (см. таблицу). В других скважинах по ул. Чапаева, 33, 37, 42, концентрация нитратов меньше, но также превышает ПДК — в 1,1–1,5 раза.

В пади Большая Черемшанка подземная вода загрязнена в одном колодце (ул. Гудина, 60) и одной скважине (ул. Гудина, 91/2). Содержание нитратов здесь  $73,1 \text{ мг/дм}^3$  (1,6 ПДК) и  $68,6 \text{ мг/дм}^3$  (1,5 ПДК) соответственно.

В пади Березовая существенно загрязненными оказались воды трех колодцев (ул. Партизанская, 6, 10, 12). Содержание нитратов превышает ПДК в 2,5–2,9 раза.

На набережной Байкала зафиксировано загрязнение подземных вод нитратами в трех скважинах по ул. Горького, 131, 133, 133/2. В скважинах глубиной 23–33 м содержание нитратов в воде достигает  $142 \text{ мг/дм}^3$  (3,1 ПДК).

Концентрация растворенного кремния в питьевой воде нормируется СанПиН 2.1.4.1074–01, согласно которым, кремний определен как высокоопасное вещество и норматив его предельного содержания составляет  $10 \text{ мг/дм}^3$ . Эта величина фигурирует при использовании в процессе водоподготовки жидкого стекла для смягчения воды, а также при наличии в источнике водоснабжения техногенного кремния [19]. Кремний входит в состав природных вод и может находиться в виде кремниевой кислоты (или ее производных) как в растворенном, так и в коллоидном состоянии. По данным [12], среднее содержание кремния (в форме  $\text{SiO}_2$ ) в истоке Ангары —  $2,24 \text{ мг/дм}^3$ , в воде оз. Байкал — 1,8–4,2, в подземных водах —  $11 \text{ мг/дм}^3$ . По нашим данным, содержание  $\text{SiO}_2$  в байкальской воде не превышает  $3,1 \text{ мг/дм}^3$ . На стадии гидрогеологических исследований необходимо установить генезис кремниевой кислоты в подземных водах, т. е. идентифицировать природный или техногенный кремний в воде. Судить о загрязнении подземных вод техногенным кремнием можно в случае расположения водопункта в непосредственной близости от зоны с повышенным содержанием растворенного кремния, промышленного предприятия, в технологических сточных водах которого может определяться повышенная концентрация растворенного кремния.

Существуют различные точки зрения на влияние кремния на организм человека. Считается, что регулярное употребление воды с повышенным содержанием кремния вызывает у человека отравление организма и приводит к появлению мочекаменной болезни и заболеваниям почек. В связи с этим одной из важных задач водоподготовки является обескремнивание питьевой воды. В то же время отмечается положительное воздействие кремния на организм человека, которое связано со способностью Si образовывать с водой положительно заряженные коллоиды. Кремний в воде губительно действует на микроорганизмы, подавляет бактерии, вызывающие гниение и брожение, способствует активному осаждению соединений тяжелых металлов.

Содержание кремния в подземных водах водопунктов пос. Листвянка по результатам гидрогеохимического анализа отобранных проб составляет  $11–31 \text{ мг/дм}^3$  (в форме  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) или  $6,8–19,3 \text{ мг/дм}^3$  (в форме  $\text{SiO}_2$ ), т. е. в целом соответствует его содержанию в поверхностных водах [12]. Согласно СанПиН [15], концентрация кремния нормируется в виде чистого Si. В пересчете на эту форму содержание его в подземных водах поселка составляет  $3–9 \text{ мг/дм}^3$ , что не превышает ПДК.

Фосфаты обычно присутствуют в воде в небольшом количестве, поэтому их наличие указывает на вероятность загрязнения промышленными жидкими отходами, стоками с сельскохозяйственных полей (в составе минеральных удобрений) или в результате бытовой деятельности человека (это компоненты мыла и составов для стирки). Повышенное содержание фосфатов способствует развитию синезеленых водорослей («цветение» воды), выделяющих токсины в воду при отмирании. Действие их на организм человека может проявляться в возникновении дерматозов, желудочно-кишечных заболеваний. ПДК соединений фосфора в питьевой воде составляет  $3,5 \text{ мг/дм}^3$ .

Анализ содержания фосфатов (в форме  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) выполнен в основном для проб подземных вод, в которых обнаружена повышенная концентрация нитратов и аммония. Установлено, что содержание фосфатов составляет 0,007–0,250 мг/дм<sup>3</sup> и не превышает допустимых норм для питьевой воды.

По величине минерализации подземных вод все пробы, кроме двух, соответствуют нормативам для питьевых вод — ПДК до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. В одном случае превышение ПДК обнаружено в воде колодца на ул. Судзиловского, 11, которая, кроме высокого содержания нитратов (265,6 мг/дм<sup>3</sup> = 5,9 ПДК), отличается повышенной минерализацией — 1144,5 мг/дм<sup>3</sup>; в другом — минерализация воды в скважине по ул. Горького, 131 составляет 1062 мг/дм<sup>3</sup>, также при высокой концентрации нитратов (141,7 мг/дм<sup>3</sup> = 3,1 ПДК).

Загрязняющих веществ в речной воде не обнаружено: солей аммония — <0,10, нитритов — <0,01, нитратов — <0,44 и фосфатов — 0,007–0,038 мг/дм<sup>3</sup>.

В связи с тем что в пределах поселка питание рек и ручьев осуществляется подземными водами (особенно в меженный период), необходимо уделять большое внимание контролю попадания загрязняющих веществ из подземных в речные воды и оз. Байкал.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пос. Листвянка население для питьевых целей преимущественно использует порово-пластовые подземные воды аллювиальных и элювиально-делювиальных отложений, каптированные колодцами, или более глубоко залегающие трещинно-пластовые воды юрских и архейских пород, вскрытые скважинами. Уровень воды в колодцах колеблется от 0,8 до 7,2 м, скважинами подземные воды вскрываются на глубине 2–87 м. 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 ПДК для питьевых вод. По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 120–450 мг/дм<sup>3</sup> и величиной рН 6,0–7,7. Исключение составляют 16 колодцев и 8 скважин, в воде которых обнаружено повышенное содержание нитратов и аммония (один случай). Превышение ПДК по нитратам изменяется от небольшой величины (в 1,1 раза) до угрожающей — в 5,9 раза, что, безусловно, исключает возможность использования воды из этих водопунктов в качестве питьевой. Загрязнение водоносного горизонта происходит в результате утечек бытовых стоков из неправильно оборудованных септиков близ расположенных гостиничных комплексов.

Установленное качественное состояние подземных вод в пределах пос. Листвянка является отправной точкой в организации мониторинга загрязнения не только источников питьевого водоснабжения поселка, но и уникальной экосистемы оз. Байкал.

*Работа выполнена в рамках интеграционной программы Иркутского научного центра СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шенькман Б.М. Фоновые загрязнения подземных вод в Приангарье и Прибайкалье // Геохимия техногенных процессов. — М.: Наука, 1990. — С. 155–175.
2. 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.
3. 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.
4. Шпейзер Г.М., Дедова Л.И., Дюберг В.М., Евсютин А.Г., Жучева Т.В., Куимова Л.П., Лобкова Л.И. Ломоносов И.С., Макаров А.А., Малевский А.Л., Проховник Л.Б., Писарский Б.И. Водно-экологический мониторинг и качество вод р. Ангары // Состояние р. Ангары и пути управления использованием водных ресурсов и их качеством: Материалы Первого науч.-метод. семинара (8–9 октября 1998 г., Иркутск). — М.: Изд-во Моск. общ. науч. фонда, 1999. — С. 48–63.
5. Коваль П.В., Кузьмин М.И. Многоцелевое геохимическое картирование масштаба 1:1 000 000 (МГХК-1000) — основа фундаментальных и прикладных региональных геохимических работ (Байкальский геоэкологический полигон) // Тезисы докл. IV Объед. междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии. — Иркутск: Лисна, 1994. — Т. 2. — С. 117–118.

6. 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.
7. Коваль П.В., Гребенщикова В.И., Китаев Н.А., Кавешников 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.
8. 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 междунар. симп. — Новосибирск: Наука, 2004. — С. 198–211.
9. Галазий Г.И., Тарасова Е.Н., Ломоносов И.С. Сульфаты — индикатор сточных вод БЦБК в водах Байкала // ЭКВАТЭК-2000: IV Междунар. конгресс «Вода и технология». — М., 2000. — С. 617–618.
10. 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 Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2001. — Вып. 2. — С. 253–268.
11. 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 Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, 2002. — Вып. 3. — С. 570–591.
12. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 234 с.
13. Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Захарова Ю.Р. Санитарно-экологическая оценка воды колодцев на побережье Байкала (п. Листвянка) // Сиб. мед. журн. — 2007. — № 8. — С. 63–65.
14. ГОСТ 2874–82. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. Введ. 01.01.1985. — М.: Изд-во стандартов. 1997. — 10 с.
15. 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 сентября 2001 г. № 24) [Электронный ресурс]. — docs.cntd.ru/document/901798042 (дата обращения 24.04.2017).
16. 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.
17. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология / Под ред. Е.В. Пиннекера. — Новосибирск: Наука, 1980. — 225 с.
18. 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 природ. ресурсы. — 2016. — № 6. — С. 37–42.
19. Алексеев В.С., Болдырев К.А., Тесля В.Г. О необходимости пересмотра нормативного содержания кремния в питьевой воде // Водоснабжение и санитарная техника. — 2011. — № 5. — С. 56–60.

*Поступила в редакцию 24 мая 2017 г.*