

Л. П. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, С. В. АЛЕКСЕЕВ<sup>2</sup>, П. А. ШОЛОХОВ<sup>1</sup>,  
А. И. ОРГИЛЬЯНОВ<sup>2</sup>, А. М. КОНОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,  
lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru

<sup>2</sup> Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,  
salex@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

### КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПАДИ КРЕСТОВАЯ (ПОС. ЛИСТВЯНКА)

*Представлены сведения о качественном состоянии подземных и поверхностных вод пади Крестовая, которые используются местным населением для питьевого водоснабжения. В пос. Листвянка распространены подземные воды гидрокарбонатного магниево-кальцевого (или кальцево-магниевого) геохимического типа с минерализацией 71,0–514,5 мг/дм<sup>3</sup>. Проанализировано соответствие содержаний компонентов используемых вод предельно допустимым концентрациям для питьевых вод. Установлено, что в основном содержания всех компонентов подземных вод в поселке не превышают нормируемых концентраций. Однако в нескольких водопунктах (преимущественно в колодцах) зафиксировано загрязнение, главные загрязняющие компоненты — нитраты, аммоний и кремний, а их источниками являются бытовые стоки многочисленных гостиничных комплексов, расположенных по берегам р. Крестовки. Превышение предельно допустимых концентраций нитратов в подземных водах в 1,1–5,9 раза, аммония — 6,3 раза. Концентрация кремния в речных и подземных водах пади практически одинакова и, несмотря на превышение допустимой нормы, может быть принята за природное фоновое значение. Вопрос о необходимости обескремнивания питьевой воды в процессе водоподготовки следует решать на основе социально-гигиенического мониторинга и эколого-эпидемиологических исследований. Для целей мониторинга качественного состояния подземных и поверхностных вод построена карта гидроизогипс подземных вод пади, на которой отмечено направление потока подземных вод от дораздельных областей в сторону р. Крестовки и оз. Байкал. Поток подземных вод формируется за счет двух составляющих — подземных вод кристаллических пород коренных массивов и грунтовых вод четвертичных аллювиальных отложений.*

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

L. P. ALEKSEEVA<sup>1</sup>, S. V. ALEKSEEV<sup>2</sup>, P. A. SHOLOKHOV<sup>1</sup>,  
A. I. ORGILIYANOV<sup>2</sup>, AND A. M. KONONOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Earth's Crust SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia,  
lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru

<sup>2</sup> Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia,  
salex@crust.irk.ru, irig@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru

### GROUND AND SURFACE WATERS QUALITY IN THE KRESTOVAYA VALLEY (LISTVYANKA SETTLEMENT)

*This paper presents evidence on the quality of ground and surface waters in the Krestovaya Valley used for community water supply. Ground water of HCO<sub>3</sub> Mg–Ca (Ca–Mg) composition with TDS ranging between 71,0 and 514,5 mg/L is commonly available in Listvyanka settlement. It was analyzed how the water components comply with the requirements of the threshold level value for potable water, and thereby established that the content of all components in the local ground water sources does not exceed critical concentrations. However, some water wells have been found polluted. The main pollutants are nitrates, ammonium and silicon, originated from discharged residential wastewater of numerous hotels situated along the Krestovka River banks. The threshold level values of nitrates and ammonium in the groundwater are found to be 1,1–5,9 and 6,3 times higher, respectively. Given that silicon content of both the riverine and ground water is almost equal, it may be taken as the natural background content, despite their pollution level is in excess of permissible limits. The problem of potable water desilication through water treatment processes should be solved on the basis of socio-hygienic monitoring and eco-epidemiological studies. To monitor ground and surface waters quantity, a depth-to-water map of the valley has been compiled which shows the stream underflow course from watersheds toward the Krestovka River and Lake Baikal. The stream underflow is formed at the confluence of groundwater of crystalline rocks of bed-rock massifs and groundwater of Quarternary alluvial deposits.*

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

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая с каждым годом антропогенная нагрузка на окружающую среду оз. Байкал, на поверхностные и подземные воды пос. Листвянка требует непрерывного мониторинга экологического состояния гидросферы. В период с 25 мая по 2 июня 2016 г. в пади Крестовая (пос. Листвянка) было выполнено гидрогеологическое обследование. Целью являлось получение информации о качественном состоянии подземных вод поселка, используемых населением для питьевого водоснабжения, и выявление участков загрязненных подземных и поверхностных вод. Объектами обследования были общественные и частные колодцы, скважины, источники подземных вод и вода р. Крестовка. Обследованы 45 объектов, из которых 18 — колодцы, 21 — скважины, 2 — источника, а также 3 створа и 1 точка на р. Крестовка. Одновременно портативными приборами были измерены температура, рН, Eh и электропроводность воды, уровни воды в колодцах и отобраны пробы воды на полный химический анализ. На оборудованных гидрологических створах замерена скорость течения воды в реке для расчета ее расхода. В лабораторных условиях определено содержание следующих компонентов:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HPO_4^{2-}$ , а также рН, удельный вес и минерализация (М).

Для оценки качества природных вод были использованы ГОСТ 2874-82 (Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством) [1], СанПиН 2.1.4.1074-01 (Санитарно-питьевые нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества») [2]. Для сравнения с состоянием подземных вод в начале 2000-х гг. использована работа [3].

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Гидрогеохимический анализ показывает, что в пределах пади Крестовая распространены подземные воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого (или кальциево-магниевого) геохимического типа. Минерализация вод изменяется в пределах 71,0–514,5 мг/дм<sup>3</sup>, рН — от 6 до 8 (околонейтральная среда), Eh — от –175 до +178 мВ (обстановка от восстановительной до окислительной), естественная температура воды низкая — от 0,9 до 7,5 °С.

В основном содержания всех компонентов подземных вод не превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) для питьевых вод. Исключение составляют 9 колодцев и 1 скважина (см. таблицу). В них основные загрязняющие компоненты — нитраты, аммоний и кремний. Источники загрязняющих веществ — бытовые стоки многочисленных гостиничных комплексов, расположенных по берегам р. Крестовки, которые из неправильно оборудованных септиков инфильтруются через маломощную грунтовую толщу или просто в результате переливов попадают в водоносный горизонт аллювиальных отложений, являющийся основным поставщиком питьевой воды для колодцев и большинства скважин.

*Азотсодержащие соединения* почти всегда присутствуют во всех водах и свидетельствуют о наличии в воде органического вещества животного происхождения. Они являются продуктами распада органических примесей, образуются в воде преимущественно в результате разложения мочевины и белков, поступающих в нее с бытовыми сточными водами. Нитраты  $NO_3^-$ , нитриты  $NO_2^-$  и аммонийные соли  $NH_4^+$  находятся в поверхностных и подземных водах в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии и могут под влиянием многих 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 вода подверглась самоочищению. Основными источниками поступления ионов аммония в водные объекты являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий при использовании аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксо-, лесохимической и химической промышленности. Употребление воды с повышенным содержанием нитритов и нитратов приводит к нарушению окислительной функции крови. Предельно допустимая концентрация  $NH_4^+$  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 9 колодцев и в 1 скважине в пади Крестовая — это индикаторный показатель, отражающий ухудшение санитарного состояния этих

Химический состав загрязненных подземных вод в колодцах и скважинах в пределах пади Крестовая (пос. Листвянка)

Номер точки, водопункт	Адрес	pH t, °C	Химический состав воды (формула Курлова)	Содержание компонента, мг/дм <sup>3</sup>		
				Превышение ПДК, раз		
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>
22-г, колодец	Ул. Горная, 12	6,0	M390 $\frac{\text{HCO}_3\text{22 Cl30 SO}_4\text{17}}{\text{Ca50 Mg33 Na14}}$	1,5	90,8	34
		1,5		—	2,0	3,4
23-к, колодец	Ул. Куликова, 14	6,7	M404 $\frac{\text{HCO}_3\text{35 Cl32 SO}_4\text{17}}{\text{Ca47 Mg36 Na14}}$	<0,10	50,3	30
		0,9		—	1,1	3,0
31-к, колодец	Ул. Куликова, 8а	6,6	M507 $\frac{\text{HCO}_3\text{47 Cl25 SO}_4\text{15}}{\text{Ca41 Mg26 Na19}}$	12,5	50,9	28
		7,5		6,3	1,1	2,8
35-к, колодец	Ул. Кузнецова, 3	6,8	M450 $\frac{\text{HCO}_3\text{39 Cl24 SO}_4\text{16}}{\text{Ca50 Mg33 Na15}}$	<0,10	77,5	26
		3,4		—	1,7	2,6
36-к, колодец	Ул. Кузнецова, 5	7,2	M458 $\frac{\text{HCO}_3\text{34 Cl17 SO}_4\text{16}}{\text{Ca49 Mg31 Na17}}$	<0,10	121,7	28
		1,4		—	2,7	2,8
37-к, колодец	Ул. Кузнецова, 15	6,7	M420 $\frac{\text{HCO}_3\text{43 Cl17 SO}_4\text{16}}{\text{Ca54 Mg31 Na12}}$	<0,10	78,6	29
		4,0		—	1,7	2,9
81-с/2, колодец	Ул. Судзиловского, 11	6,4	M1145 $\frac{\text{Cl54 SO}_4\text{13 HCO}_3\text{9}}{\text{Ca41 Na33 Mg24}}$	<0,10	265,6	22
		2,2		—	5,9	2,2
81-с/1, колодец	Ул. Судзиловского, 9	6,5	M515 $\frac{\text{HCO}_3\text{28 Cl22 SO}_4\text{18}}{\text{Ca51 Mg26 Na20}}$	<0,10	132,9	25
		4,4		—	2,6	2,5
83-с, колодец	Ул. Судзиловского, 3	6,4	M309 $\frac{\text{HCO}_3\text{29 Cl28 SO}_4\text{20}}{\text{Ca52 Mg30 Na21}}$	<0,10	55,3	24
		1,9		—	1,1	2,4
79-с, скважина	Ул. Судзиловского, 18	6,6	M241 $\frac{\text{HCO}_3\text{46 SO}_4\text{30 Cl24}}{\text{Ca58 Mg26 Na13}}$	<0,10	49,8	21
		4,2		—	1,1	2,1

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 мг/дм<sup>3</sup> (5,9 ПДК). В других колодцах и одной скважине (ул. Судзиловского, 18) нитратов в воде содержится от 49,8 до 132,8 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. превышение ПДК от 1,1 до 2,6 раза. В воде колодца на ул. Куликова, 8а, кроме высокого содержания нитратов (50,9 мг/дм<sup>3</sup> — 1,1 ПДК), обнаружено превышение ПДК по аммонии в 6,3 раза (12,5 мг/дм<sup>3</sup>).

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 мг/дм<sup>3</sup>. При этом рассматриваемая концентрация в качестве предельно допустимой вводится при использовании в процессе водоподготовки жидкого стекла для умягчения воды, а также при наличии в источнике водоснабжения техногенного кремния [4]. В природных водах кремний может находиться в виде кремниевой кислоты (или ее производных — силикатов) как в растворенном, так и в коллоидном состоянии. На стадии гидрогеологических исследований необходимо установление генезиса кремниевой кислоты в подземных водах, т. е. идентификация природного или техногенного кремния в воде. Судить о загрязнении подземных вод техногенным кремнием можно в случае расположения в непосредственной близости от зоны, где наблюдается высокое содержание 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. С одной стороны, считается, что регулярное употребление воды с повышенным содержанием кремния в питьевой воде 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. С другой стороны, 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, при этом вода становится чистой на вид и приятной на вкус, долгое время не портится.

Содержание кремния в подземной воде пади Крестовая по анализам 41 отобранной пробы — повышенное (во всех случаях) относительно допустимой нормы (см. таблицу). Однако следует отметить, что концентрация кремния в речных и подземных водах пади практически одинакова (11–31 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. превышение техногенного ПДК в 2–3 раза) и может быть принята за природное фоновое значение. Учитывая, что в области питания водоносных горизонтов и поверхностных вод нет предприятий, производящих кремнийсодержащие продукты (цементные, стекольные и керамические изделия, силикатные краски, каучук и пр.), а также отсутствуют участки строительства, где укрепление грунтов осуществляется с применением силикатов, следует признать природное происхождение кремния в подземных и речных водах. Вопрос о негативном изменении состояния здоровья людей, употреблявших питьевую воду, содержащую природный кремний в концентрации более 10 мг/дм<sup>3</sup>, а также о необходимости обескремнивания питьевой воды в процессе водоподготовки следует решать на основе социально-гигиенического мониторинга и эколого-эпидемиологических исследований.

**Фосфаты** обычно присутствуют в воде в небольшом количестве, поэтому их обнаружение указывает на вероятность загрязнения промышленными жидкими отходами, стоками с сельскохозяйственных полей (в составе минеральных удобрений) или в результате бытовой деятельности человека (это неотъемлемые компоненты мыла и составов для стирки). Повышенное содержание фосфатов оказывает сильное влияние на развитие синезеленых водорослей («цветение воды»), выделяющих токсины в воду при отмирании; действие этих токсинов на организм человека может проявляться в возникновении дерматозов, желудочно-кишечных заболеваний. ПДК соединений фосфора в питьевой воде составляет 3,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Анализ содержания фосфатов (в форме  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) выполнен в основном для проб подземных вод пади Крестовая, в которых обнаружена повышенная концентрация нитратов и аммония. Установлено, что содержание фосфатов невысокое — 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 одной, удовлетворяют ПДК для питьевых вод — до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. В единичном случае обнаружено превышение ПДК — вода из колодца на ул. Судзиловского, 11, кроме высокого содержания нитратов (132,9 мг/дм<sup>3</sup> — 2,6 ПДК), имеет повышенную минерализацию (1144,5 мг/дм<sup>3</sup>).

Локальной дренажной пади Крестовая является р. Крестовка, которая образуется слиянием двух притоков — Большой (левой) и Малой (правой) Крестовки. По составу речная вода сульфатно-гидрокарбонатная магниевая-кальциевая с минерализацией 71–84 мг/дм<sup>3</sup>, средняя температура воды 6,0 °С. Загрязняющих веществ в речной воде не обнаружено (см. таблицу): солей аммония <0,10, нитритов <0,01, нитратов <0,44 и фосфатов — 0,007–0,038 мг/дм<sup>3</sup>. На трех организованных створах, находящихся в 1100 м друг от друга, был определен расход воды реки (м<sup>3</sup>/с): 0,546 (верхний створ — в 2300 м от уреза оз. Байкал); 0,637 (средний створ) и 0,707 (нижний створ — 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 р. Крестовки на этом участке в период исследования подземными водами (поскольку отсутствуют притоки-ручьи). В связи с этим необходимо уделять большое внимание контролю попадания загрязняющих веществ из подземных в речные воды и далее — в оз. Байкал.

### НАПРАВЛЕНИЕ ПОТОКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

На основе выполненных измерений уровней подземных вод в обследованных скважинах и колодцах построена карта гидроизогипс для пади Крестовая и горного обрамления (см. рисунок).

#### Карта гидроизогипс подземных вод пади Крестовая.

1 — подземные воды четвертичных отложений; 2 — подземные воды заларинского комплекса нижнеюрских отложений; 3 — подземные воды архейско-протерозойских образований; 4 — скважина и ее номер; 5 — колодец и его номер; 6 — точка опробования речных вод и ее номер; 7 — родник и его номер; 8 — индикатор качественного состава воды: красный цвет — водопункт с превышением нормативов ПДК (а), синий — водопункт без превышения ПДК (б); 9 — изогипсы первого от поверхности водоносного горизонта подземных вод (штриховые линии — предполагаемые, сплошные линии — фактические); 10 — направление потока подземных вод; 11 — границы освоенной территории; 12 — изолинии рельефа поверхности.





Массив четвертичного, юрского и архейско-протерозойского комплекса пород обводнен в разной степени. На формирование подземной водоносной системы наибольшее влияние оказывают такие факторы, как особенности рельефа, литологический состав пород, наличие тектонических нарушений (разломов и зон трещиноватости в блоках пород коренных массивов), а также антропогенная нагрузка.

Совокупность действия этих факторов приводит к формированию подземного потока с общим вектором направления к главной дрене — озеру Байкал. Часть общего потока составляют подземные воды коренных массивов, поступающие по зонам экзогенной трещиноватости со стороны склонов перпендикулярно направлению долины р. Крестовки. Другая составляющая потока образуется за счет грунтовых вод четвертичных аллювиальных отложений ее долины, имеющих вполне выдержанные простирание и мощность. Зеркало подземных вод пади неоднородно, имеет явные понижения на 5–8 м от поверхности в восточной части речной долины и небольшие участки подъема уровня до 0,5–0,7 м в пределах выположенной пойменной поверхности. В заболоченной северо-восточной части долины р. Крестовки поверхность зеркала грунтовых вод поднимается до 0,5 м.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественное состояние подземных вод частных скважин и колодцев в пос. Листвянка в пределах пади Крестовая, которые используются для питьевого водоснабжения, удовлетворительное в 20 скважинах и 9 колодцах, содержание всех компонентов подземных вод в этих водопунктах не превышает предельно допустимые концентрации для питьевых вод. Исключение составляют 9 колодцев и 1 скважина, в воде которых обнаружено повышенное содержание нитратов и аммония (один случай). Загрязнение водоносного горизонта происходит в результате утечек бытовых стоков из неправильно оборудованных септиков близрасположенных гостиничных комплексов. Превышение ПДК по нитратам изменяется от небольшой величины (в 1,1 раза) до угрожающей — в 5,9 раза, что, конечно, исключает возможность использования воды из этих водопунктов в качестве питьевой.

Карта изогипс подземных вод дает представление о залегании грунтовых вод и направлении их движения — от водораздельных областей в сторону р. Крестовка и оз. Байкал. Она является основой мониторинга качественного состояния подземных и поверхностных вод с целью пресечения загрязнения не только источников питьевого водоснабжения поселка, но и уникальной экосистемы озера Байкал.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 2874-82.** Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. — М.: Изд-во стандартов, 1997. — 10 с.
2. **СанПиН 2.1.4.1074-01.** Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 26 сент. 2001 г. № 24. — М., 2002.
3. **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. 69–71.
4. **Алексеев В. С., Болдырев К. А., Тесля В. Г.** О необходимости пересмотра нормативного содержания кремния в питьевой воде // Водоснабжение и сан. техника. — 2011. — № 5. — С. 56–60.

*Поступила в редакцию 27 октября 2016 г.*