

С. В. АЛЕКСЕЕВ<sup>1</sup>, Л. П. АЛЕКСЕЕВА<sup>2</sup>, В. Р. АЛЕКСЕЕВ<sup>3</sup>, А. М. КОНОНОВ<sup>1</sup>, П. А. ШОЛОХОВ<sup>2</sup><sup>1</sup> Иркутский научный центр СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, salex@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru<sup>2</sup> Институт земной коры СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru<sup>3</sup> Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, snow@irk.ru

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОСЕЛКА ЛИСТВЯНКА

Приводятся сведения об основных водоносных комплексах в районе Листвянского муниципального образования, а также стратификация гидрогеологического разреза ключевого участка — пади Крестовая. Поселок Листвянка расположен на стыке Иркутского артезианского бассейна с Байкальской горно-складчатой гидрогеологической областью. Своеобразие гидрогеологических условий обусловлено составом и трещиноватостью водовмещающих горных пород, высотой над уровнем озера Байкал, положением днищ долин, распространением многолетнемерзлых пород. В кристаллических горных породах и рыхлых отложениях залегают трещинные, трещинно-пластовые, порово-трещинные и порово-пластовые подземные воды. По химическому составу они гидрокарбонатные кальциевые или магниевые с минерализацией до 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки. Озеро Байкал является дренажной подземных вод. Об этом свидетельствует зафиксированный наклон зеркала подземных вод в его сторону. Разгружающиеся в Байкал подземные воды вследствие их низкой минерализации, а также химического состава, идентичного составу байкальской воды, не нарушают стабильности геохимических характеристик водных масс озера.

Многолетняя мерзлота встречается небольшими островами под болотами в днищах долин. Мощность многолетнемерзлых горных пород не превышает 15–30 м. В отдельные суровые и малоснежные зимы мерзлые породы могут выступать в виде своеобразных барражей и являться причиной разгрузки подземных вод и формирования наледей.

Ключевые слова: подземные воды, водоносные комплексы, химический состав воды, дебит источника, многолетнемерзлые породы.

S. V. ALEKSEEV<sup>1</sup>, L. P. ALEKSEEVA<sup>2</sup>, V. R. ALEKSEEV<sup>3</sup>, A. M. KONONOV<sup>1</sup>, AND P. A. SHOLOKHOV<sup>2</sup><sup>1</sup> Irkutsk Scientific Center SB RAS,  
664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, salex@crust.irk.ru, kononov@crust.irk.ru<sup>2</sup> Institute of Earth's Crust SB RAS,  
664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia, lalex@crust.irk.ru, sholokhov@crust.irk.ru<sup>3</sup> V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS,  
664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1, Russia, snow@irk.ru

### HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF LISTVYANKA SETTLEMENT

Some material and data on the aquifer system in the vicinity of Listvyanka municipality are provided, along with stratification of hydrogeological section of the key site — Krestovaya valley. Listvyanka settlement is situated at the joint of the Irkutsk artesian basin and Baikal mountain-folded hydrogeological region. The peculiar hydrogeological conditions are caused by a combination of the environmental factors: the composition and jointing of water-bearing rocks, height above the Baikal level, position of the valley channels, and permafrost distribution. Fissure, fissure-formation, pore-fissure and pore-formation underground waters occur in crystalline and fine-grained deposits. They are calcium or magnesium hydrocarbonate in chemical composition with salinity not exceeding 0,5 g/L. Atmospheric precipitation is the main source of underground water recharge. Lake Baikal drains the underground waters as evidenced by their table which is inclined in its direction. The underground waters recharging the Baikal do not disturb the chemical stability of its water body owing to their low salinity, and chemical composition similar to that of the Baikal water.

Permafrost is found in the form of small islands under swamps in the valley floors. The permafrost thickness is 15–30 m at most. In severe and dry winter the permafrost can barrage the groundwater flow and prompt the icing formation.

Keywords: underground water, aquifers, water chemical composition, spring output (yield of water supply source), permafrost.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы пос. Листвянка стал самым посещаемым местом на озере Байкал. Муниципальное образование имеет хорошо развитую инфраструктуру с большим количеством объектов мас-

сового 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 этой связи сохранение качества водных ресурсов в прибрежной полосе оз. Байкал является одной из приоритетных задач развития Байкальской природной территории. Поскольку питьевое водоснабжение пос. Листвянка осуществляется за счет поверхностных и подземных вод, изучение фоновое состояния наземной и подземной гидросферы крайне важно для оценки техногенного воздействия на экосистему оз. Байкал и разработки комплекса возможных превентивных мероприятий.

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ

Поселок Листвянка расположен в предгорье Приморского хребта в истоке р. Ангары. Основные формы рельефа — пади, распадки и небольшие водораздельные пространства. Абсолютные отметки водоразделов составляют 700–750 м, распадков и падей — 480–500 м.

Согласно схеме гидрогеологического районирования Прибайкалья, муниципальное образование расположено на стыке Иркутского артезианского бассейна с Байкальской горно-складчатой гидрогеологической областью [1, 2]. Территория характеризуется преимущественным развитием подземных вод в трещиноватых кристаллических горных породах и порово-пластовых вод в рыхлых четвертичных отложениях.

**Водоносная зона трещиноватости китойского комплекса нижнего протерозоя.** Китойская трещиноватая зона обводненных пород находится в районе истока р. Ангары. Водовмещающими отложениями китойского комплекса являются гнейсы, гранитогнейсы и граниты, разбитые сетью тектонических трещин. Подземные воды частично разгружаются в виде источников в днищах падей и распадков, у подножий склонов. Характерная особенность режима подземных вод — зависимость дебита источников от количества выпадающих атмосферных осадков. Увеличение дебита происходит в весенне-летне-осенний периоды, минимальные значения дебита фиксируются зимой. Подземные воды зоны обладают напором, вскрываются на глубинах от 9–12 до 50–70 м. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки (склоновый сток с окружающих хребтов и предгорий), а также частичное питание за счет подземного стока вышележающих четвертичных отложений. Подземные воды — ультрапресные, пресные гидрокарбонатного кальциевого или гидрокарбонатного магниевое состава с минерализацией 0,03–0,17 г/дм<sup>3</sup>.

**Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений** приурочен к пойменным и надпойменным отложениям террас. Водовмещающими отложениями комплекса являются гравийно-галечные и валунно-галечные образования с песчаным и супесчаным заполнителем. Мощности водовмещающих отложений различна и изменяется от 5–8 до 12–14 м. Подземные воды безнапорные, вскрываются на глубинах от 1 до 3 м. Водовмещающие отложения обладают различной водопроницаемостью: коэффициент фильтрации валунно-галечных отложений варьируется от 10–20 и до 120–130 м/сут. Основным источником питания подземных вод комплекса являются атмосферные осадки, которые поступают в виде поверхностного стока, а также подземного склонового стока с окружающих хребтов и предгорий. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией от 0,17 до 0,54 дм<sup>3</sup> [3].

### МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА — ПАДИ КРЕСТОВАЯ

В качестве ключевого участка выбрана густозаселенная падь Крестовая, расположенная на северо-западном побережье Байкала в нескольких километрах от истока р. Ангары. Долина эрозионного происхождения заложена по тектоническому нарушению. Общая ориентация долины — с юго-запада на северо-восток. На расстоянии 5–8 км от устья направление долины субширотное. Общая протяженность реки 15 км. Верховье состоит из двух притоков — Большой (левой) и Малой (правой) Крестовки. Ниже их слияния к долине примыкают падь Софьяника (с севера) и падь Сибиряковская (с юго-востока).

Ширина днища долины р. Крестовки в нижнем течении составляет 350–450 м. Наибольшие размеры долины — в приустьевой части на выходе к берегу оз. Байкал. Форма долины преимущественно трапециевидная. Углы склонов составляют 25–30° в нижней части долины и 12–18° — в верхней.

Отчетливо выражен следующий комплекс эрозионных и структурно-эрозионных террас: первая надпойменная высотой 2–4 м, вторая надпойменная — 8–10 м и третья — высотой 20–30 м над урезом реки. Террасы расположены фрагментарно в виде уступов шириной 20–30 м и длиной 15–200 м

с углом откоса до 40–42° и наклоном площадки 8–10°. Правая часть долины у устья имеет хорошо выраженную высокую террасу с углом наклона 11°, длиной около 800 м и шириной до 200 м. Она используется местным населением под огороды. Здесь также расположено кладбище.

Бассейн р. Крестовки сложен главным образом конгломератами юрского возраста. В приустьевой части долины залегают архейские кристаллические сланцы и гнейсы, которые надвинуты на юрские отложения. Надвиг имеет общее северо-восточное простирание и крутое, почти отвесное падение.

Согласно данным Западно-Байкальской партии ПГО «Иркутскгеология», разрез современных аллювиальных отложений в нижней части долины р. Крестовки следующий.

1. Почвенно-растительный горизонт мощностью 0,3–0,4 м, состоящий из дернины и суглинка с примесью щебня и мелкой гальки.

2. Суглинок желтовато-серого цвета, иногда с мелкой галькой, мощность слоя 0,3–0,8 м. На заболоченных участках суглинка перекрыты черной иловатой глиной мощностью 0,5–0,8 м.

3. Желтовато-серые песчано-гравийно-галечные отложения мощностью 0,8–2,8 м. Слоистость выражена неоднородно. Количество гальки в породе составляет 40–50 %, размер гальки 3–5 см. Песок большей частью аркозовый. В составе псефитовой фракции присутствуют аляскитовый гранит, кислые эффузивы типа фальзита, фальзит-порфира, биотитовый гнейс, пегматит, кварц. Валунуны состоят преимущественно из гранита, галька — из кислых эффузивных горных пород.

4. Валунно-галечниковые отложения желтовато-серого цвета с песчано-гравийным заполнителем, мощностью 3,0–4,5 м. Количество валунов в породе 10–20 %, размер 5–10 см. Заполнитель — песок аркозовый, в верхней части слоя отмечается повышенное содержание глинистых фракций. Состав гальки и валунов аналогичен вышележающим отложениям.

Общая мощность аллювиальных отложений в пади Крестовая составляет 3,0–5,5 м. Аллювиальные отложения подстилает элювий мощностью 0,5–1,0 м, представленный выветрелыми конгломератами коренных пород с повышенным содержанием глинистых частиц. В нижней части долины элювий перекрывает выветрелые граниты и гранитогнейсы архея и протерозоя.

Долина р. Крестовки расположена в зоне глубокого сезонного промерзания горных пород с редкими островами многолетней мерзлоты. Мощность сезонномерзлого слоя в зависимости от вещественного состава пород изменяется от 1,2 до 2,0 м. Под руслом реки положение нулевой изотермы фиксируется на глубине не более 0,5 м.

Промерзание горных пород начинается в конце октября — начале ноября и заканчивается в середине апреля. Полное протаивание мерзлых пород происходит в середине лета, на северных замшелых склонах — в августе–сентябре. Многолетняя мерзлота встречается небольшими островами под сфагновыми болотами в днище долины (например, в 0,5 км выше окраины поселка на левобережье реки) и на нижних частях склонов северной и северо-восточной экспозиции.

Мощность многолетнемерзлых горных пород не превышает 15–30 м. В отдельные суровые и малоснежные зимы на затененных и увлажненных местах долины могут формироваться перелетки. Они могут выступать в виде своеобразных барражей и быть причиной разгрузки подземных вод и формирования наледей.

Своеобразие гидрогеологических условий ключевого участка обусловлено составом и трещиноватостью водовмещающих горных пород, высотой над уровнем оз. Байкал, положением днища долины р. Крестовки и рядом других факторов.

В долине р. Крестовки распространены четыре типа подземных вод.

*Порово-пластовые воды аллювиальных отложений* залегают на глубине 0,5–5,5 м. Мощность горизонта составляет 6–7 м. Водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений вскрыт скважиной 1 на левом берегу р. Крестовки на глубине 3,0 м (см. рисунок). Водовмещающие отложения представлены галечником с песчаным заполнителем. Мощность водоносного горизонта составила 4,5 м, а напор над кровлей — 1 м. Дебит скважины — 0,12 л/с при понижении 12 м. Подземные воды гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава, с минерализацией 0,37 г/дм<sup>3</sup>. Содержание нитратов, нитритов и общего железа не превышает ПДК. С глубины 7,5 м залегают воздушно-сухие гранодиориты протерозойского возраста.

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 (преимущественно вдоль русла реки и на оголенных от растительности участках). Воды аллювиальных отложений — основной источник питания наледей. Наибольшей обводненностью характеризуются средняя и нижняя части долины р. Крестовки. Здесь при проходке контрольных шурфов отмечен водоприток 1,7 л/с.

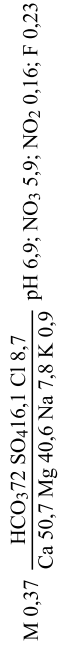


Схема ключевого участка

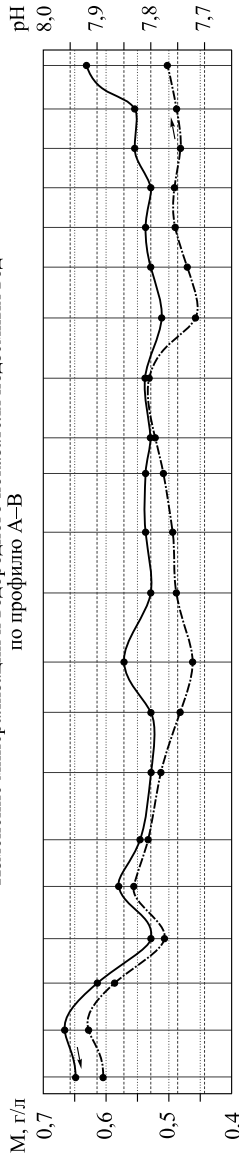
Гидрогеологическая колонка скв. 1	Сведения о водоносном горизонте	Литология	Краткое описание пород	Глубина, м
Скв. 1	2 <sup>м</sup> Статический уровень	•••••	Валуново-галечные отложения с песчаным заполнителем	3,0
Скв. 1	3 <sup>м</sup> Водонасыщенный горизонт вскрыт с глубины 3,0 до 7,5 м	○●○●○	Галечниковые отложения с песчаным заполнителем	7,5
	9	×××××	Гранодиориты	15,0

- Скв. 1 ●
- Скв. 1
- 0,12 3 0,37
- Гидрогеологическая скважина на схеме, вверху номер скважины
- Гидрогеологическая скважина на разрезе: вверху – номер скважины; слева: над чертой – дебит, л/с, под чертой – понижение; справа: над чертой – глубина естественного уровня, м, под чертой – минерализация воды, г/л
- Современные техногенные отложения (IQ<sub>IV</sub>). Насыпные грунты, галечники с песчаным заполнителем
- Четвертичные аллювиальные отложения (aQ<sub>IV</sub>). Водонасыщенные галечники с песчаным заполнителем
- Четвертичные делювиально-элювиальные отложения (d-eQ<sub>IV</sub>). Супеси твердые с включением дресвы и щебня
- Магматические породы протерозойского возраста (PR). Граниты прочные, плотные
- Уровень подземных вод

Формула химического состава подземных вод в скв. 1:



Изменение минерализации и водородного показателя подземных вод по профилю А-В



Гидрогеологический разрез по линии А-В  
Масштаб: горизонтальный 1:500; вертикальный 1:100

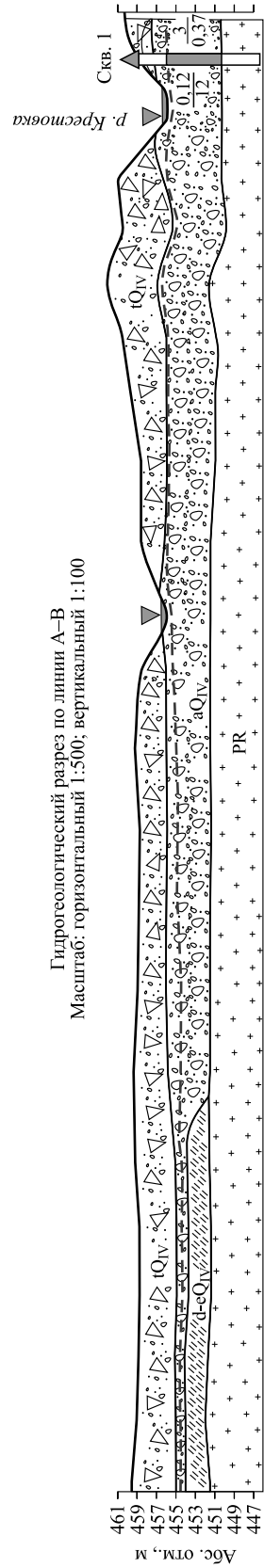


Схема и гидрогеологический разрез прибрежной части ключевого участка — пади Крестовая.

*Порово-трещинные воды элювиально-делювиальных отложений* распространены повсеместно на склонах и пологих водораздельных пространствах, залегая на глубине 0,5–3,0 м. Они чаще всего встречаются в виде верховодки, питаются за счет атмосферных осадков и выгаивающих линз подземного льда. Режим подземных вод неустойчивый. Разгрузка происходит у подножий склонов в виде сезонно действующих источников, дебит которых обычно не превышает десятых долей литра в секунду.

*Трещинно-пластовые воды юрских отложений* распространены в средней и верхней частях бассейна р. Крестовки. Их формирование и режим определяются атмосферными осадками, составом вмещающих пород и степенью раздробленности горных пород. Водоносные горизонты, как правило, не выдержаны по простираению, они обычно контролируются разрывными нарушениями. Разгрузка происходит у подножий склонов в виде источников с дебитом 1,0–1,5 л/с или субаквально. Зимой разгрузка подземных вод сопровождается формированием небольших по объему наледей. По составу трещинно-пластовые воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,06–0,12 г/дм<sup>3</sup>.

*Трещинные воды метаморфических и кристаллических пород* архея и протерозоя распространены в приустьевой части р. Крестовки. Водоносные горизонты приурочены к зоне экзогенной трещиноватости мощностью 50–100 м и имеют гидравлическую связь с оз. Байкал.

Байкальская впадина является дренажной неглубоко залегающих подземных вод. Об этом свидетельствует зафиксированный наклон зеркала подземных вод в сторону озера (например, в г. Слюдянка, дельте р. Селенги), причем он имеется и у пьезометрической поверхности напорных водоносных горизонтов. Вероятно, такая односторонняя связь существует до глубины 250 м [2].

Разгружающиеся в оз. Байкал подземные воды зоны выветривания метаморфических и магматических пород вследствие их низкой минерализации и состава, идентичного составу байкальской воды, не нарушают стабильности геохимических характеристик водных масс озера.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В районе пос. Листвянка распространены ультрапресные, пресные трещинные подземные воды в кристаллических породах архея и протерозоя, трещинно-пластовые, порово-пластовые, порово-трещинные воды юрских, четвертичных аллювиальных и элювиально-делювиальных отложений. По химическому составу они гидрокарбонатные магниевые-кальциевые или кальциевые-магниевые. Основным источником питания водоносных горизонтов являются атмосферные осадки, которые поступают в виде поверхностного стока, а также подземного склонового стока с окружающих хребтов и предгорий. Подземные воды разгружаются в виде источников или субаквально в днищах падей и распадков на перегибах продольного профиля долин, у подножий склонов. В зимнее время формируются небольшие по объему наледей. Зеркало подземных вод наклонено в сторону оз. 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. *Гидрогеология СССР*. Т. XIX. Иркутская область / Вед. ред. В. Г. Ткачук. — М.: Недра, 1968. — 495 с.
2. *Гидрогеология Прибайкалья* / Отв. ред. Е. В. Пиннекер. — М.: Наука, 1968. — 170 с.
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.

*Поступила в редакцию 27 октября 2016 г.*