

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ

УДК 556.36

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(29-38)

**МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
УЧАСТКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕЖМЕРЗЛОТНОГО ВОДОНОСНОГО
КОМПЛЕКСА В РАЙОНЕ ИСТОЧНИКА ЕРЮЮ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)****А.А. Семерня, Л.А. Гагарин, К.И. Бажин***Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; gagarinla@gmail.com*

Изложены результаты многолетних криогидрогеологических исследований, проводимых сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН в районе одного из круглогодично действующих источников межмерзлотных вод, находящегося на территории Центральной Якутии. На основе анализа данных буровых и геофизических исследований установлены плановые границы межмерзлотного водоносного горизонта, воды которого формируют источник Ерюю. Обработка режимных наблюдений за уровнем подземных вод позволила определить условия аккумуляции и сброски запасов подземных вод, а также установить ведущую роль наледей в гидродинамическом режиме межмерзлотных вод. Выявлены геотермические особенности верхних слоев горных пород, которые могут выступать в качестве поисковых признаков подземных вод на четвертой (бестяхской) надпойменной террасе р. Лена, выражающиеся в совпадении глубины максимального протаивания с глубиной залегания слоя годовых теплооборотов.

Межмерзлотный водоносный горизонт, динамика уровня подземных вод, естественные ресурсы подземных вод, подошва и кровля водоносного горизонта, теплообороты, фильтрационные параметры, аккумуляция запасов подземных вод

**CRYOHYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE SITE OF INTRAPERMAFROST
AQUIFER DISTRIBUTION AT THE ERUU SPRING AREA (CENTRAL YAKUTIA)****A.A. Semernya, L.A. Gagarin, K.I. Bazhin***Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, 36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; gagarinla@gmail.com*

The paper presents the results of long-term permafrost and hydrogeological research conducted by Melnikov Permafrost Institute in the area of one of the perennial intrapermafrost springs residing in the territory of Central Yakutia. Spatial boundaries of the intrapermafrost aquifer recharging Eruu spring are determined from the drilling and geophysical survey data. Results of the groundwater level monitoring data processing allowed to define conditions of groundwater accumulation and discharge, as well as to determine the major role of icings (aufeis) in the hydrodynamic regime of intrapermafrost waters. The revealed specific geothermal characteristics of the upper rock layers may serve as indicators of groundwater presence on the fourth (Bestyakhskaya) terrace of the Lena River, which is evidenced by the maximum thaw depth coinciding with the depth of zero annual amplitude.

Intrapermafrost aquifer, groundwater level dynamics, natural resources of groundwater, bottom and top of the aquifer, heat exchange, filtration parameters, accumulation of groundwater resources

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдаемый рост численности населения на территории Центральной Якутии неизбежно ведет к увеличению объемов потребления чистой питьевой воды. В г. Якутске и других крупных населенных пунктах республики для этих целей используются поверхностные воды рек и озер, подземные воды подрусловых и подозерных таликов, реже – воды подмерзлотного типа.

Использование поверхностных вод и вод гидrogenных таликов сопровождается процессом химической и бактериологической водоподготовки. Существует также сезонная проблема в использо-

вании этих вод, когда в период паводка на реках повышается вероятность попадания в питьевые воды бактериологических и химических веществ.

Эксплуатация подмерзлотных вод представляет собой дорогостоящую процедуру, включающую бурение, оборудование и содержание в технически исправном состоянии глубоких водозаборных скважин. Кроме того, подмерзлотные воды в Центральной Якутии в большинстве случаев не соответствуют установленным на территории Российской Федерации нормам и стандартам качества. Все это заставляет искать менее дорого-

стоящие и более качественные источники водоснабжения.

В Центральной Якутии на правом берегу р. Лена, вдоль подножия четвертой надпойменной террасы на широте от $61^{\circ}17'$ до $62^{\circ}20'$, имеется серия круглогодично действующих крупнодебитных источников подземных вод, приуроченных к межмерзлотным водоносным горизонтам. Их естественные ресурсы, рассчитанные по родниковому стоку, ориентировочно оцениваются в 50 тыс. м³/сут и более [Павлова и др., 2012]. Объемы (до 220 л/с, источник Улахан-Тарын) и качество (минерализация менее 1 г/л) разгружающихся подземных вод позволяют использовать их и для питьевых целей.

Подземные воды межмерзлотного типа, формирующие эти уникальные по своей природе круглогодично действующие источники, ввиду их близкого залегания к поверхности являются весьма восприимчивыми к техногенному воздействию, результатом которого может быть загрязнение или даже истощение продуктивных горизонтов. Поэтому возникает вопрос о детальном изучении мерзлотно-гидрогеологических условий территории, в пределах которой распространены межмерзлотные водоносные горизонты.

В Центральной Якутии Институтом мерзловедения им. П.И. Мельникова (ИМЗ) СО РАН на площади развития межмерзлотных вод и на участках их разгрузки уже более полувека ведутся различного рода исследования. Полевые работы включают замеры дебита источников подземных вод, отбор проб воды для химико-аналитических исследований, наблюдения за уровнем и температурой подземных вод, режимом формирования наледей и др. Основные результаты исследований изложены в научно-технических отчетах института, опубликованы в работах [Шепелев, 1987, 2011; Шепелев и др., 2002; Балобаев и др., 2003; Анисимова, Павлова, 2014] и др.

Целью данной работы было изучение мерзлотно-гидрогеологической обстановки в области распространения одного из перспективных для водоснабжения межмерзлотного водоносного горизонта, формирующего круглогодично действующий источник Ерюю.

ХАРАКТЕРИСТИКА И КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ УЧАСТКА

Четвертая (бестяхская) надпойменная терраса р. Лена расположена на правобережье современной долины реки [Соловьев, 1959; Иванов, 1984]. Ширина ее в устьевой части р. Лютенга составляет 2–3 км, на широте Табагинского мыса – 19 км, а у пос. Намцы достигает 31 км. Абсолютные отметки поверхности террасы постепенно понижаются с юга на север от 163 до 140 м [Соловьев,

1959]. На поверхности террасы широко распространены выраженные в рельефе песчаные гряды высотой от 2–3 до 10–20 м, долины ручьев и небольших рек, озерные котловины.

Преобладающий тип растительности на изучаемой площади – зрелый сосновый лес со следами свежих, старых и древних пожаров. В понижениях рельефа вблизи ручьев и озерных котловин произрастают лиственничные леса и влаголюбивая кустарниковая растительность. Периодически заболачиваемые участки покрыты кочкарником и разнотравьем. Местами в мезопонижениях встречаются небольшие площади с сухим сосновым лесом, погибшим из-за повышения уровня надмерзлотных вод в наиболее влажные годы.

Площадь исследований находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которых достигает 300 м и более. Лишь на отдельных участках встречаются сквозные талики. Расположены они в основном под руслами крупных рек и озер. Особенностью бестяхской террасы является широкое развитие надмерзлотно-межмерзлотных, радиационно-тепловых и гидрогенных таликов различной мощности, площади и плановые границы которых до настоящего времени достоверно не установлены [Анисимова, 1971; Бойцов, 2011]. Глубина сезонного оттаивания в зависимости от типов ландшафтов в пределах бестяхской террасы р. Лена изменяется от 0.5 до 3.5–4.0 м, а температура многолетнемерзлых пород – от -0.2 до -2.0 °C [Скрябин и др., 1998].

Исследуемый участок расположен на бестяхской террасе, на левом берегу р. Тамма в 12 км от ее устья. У подножия песчаных отложений террасы имеется круглогодично действующий наледообразующий источник межмерзлотных вод Ерюю (рис. 1). Объемы образуемой им наледи достигают 200 тыс. м³ [Семерня, Гагарин, 2015]. Средний многолетний дебит источника (с 1964 по 2014 г.) составляет 41 л/с при 90%-й обеспеченности в 31 л/с. Величина естественных ресурсов водоносного горизонта, к которому он приурочен, оценена по объему наледного питания и варьирует от 893 до 1154 м³/сут [Шепелев, 1975; Семерня, 2016].

Подземные воды исследуемого межмерзлотного водоносного горизонта, формирующие источник Ерюю, циркулируют в мелко- и среднезернистых кварц-полевошпатовых песках, местами захватывая коренные мелко- и крупнозернистые песчаники юрского возраста.

Первые сведения об условиях распространения изучаемого водоносного горизонта появились в 1976 г. Тогда режимным отрядом ИМЗ СО АН СССР на основе рекогносцировочных наблюдений, буровых, опытно-фильтрационных и гидрохимических работ были получены сведения о глубинах залегания кровли и подошвы водоносного

горизонта, оценены некоторые его фильтрационные параметры (коэффициент фильтрации и водопроницаемости), установлена площадь водосбора, составляющая 26.5 км². Самый важный результат проведенных работ – установление области питания водоносного горизонта. Согласно данным химико-аналитических исследований, инфильтрация воды в водоносный горизонт осуществляется через водопоглощающие гидрогенные талики, развитые под озерами Абага-Кюэль, Эльген и Босогор [Шепелев, 1976; Анисимова, 1981; Шепелев, Ломовцева, 1981].

Разгрузка подземных вод происходит в виде потоков восходящего и нисходящего типа в корытообразном распадке, врезанном в пески бестяхской террасы на глубину от 15 до 35 м и находящемся в 1.5 км к северо-востоку от области питания. В области разгрузки проявляются термосуффозионные процессы, связанные с выносом песка из межмерзлотного водоносного горизонта напорными подземными водами. Подобные процессы характерны для бестяхской террасы р. Лена [Гагарин и др., 2016].

В 1976 г. начаты регулярные наблюдения за химическим составом разгружающихся вод, которые продолжаются и сегодня. Результаты аналитических исследований отбираемых проб воды свидетельствуют о стабильности химического состава подземных вод за многолетний период (более полувека). Родниковые воды имеют гидрокарбонатный натриевый состав, а их минерализация в зависимости от сезона года варьирует от 0.2 до 0.6 г/л.

МЕТОДИКА КРИОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения современных криогидрогеологических условий в области формирования межмерзлотного водоносного горизонта с 2007 г. проводятся комплексные исследования, включающие буровые, геофизические, геотермические и гидрогеологические работы. На территории пробурены четыре гидрогеологические скважины глубиной от 30 до 100 м (см. рис. 1).

В области разгрузки, над одним из выходов подземных вод расположена разведочная гидрогеологическая скважина 7/05 глубиной 100 м. При ее бурении с глубины 62.4 м были вскрыты коренные породы раннеюрского возраста, представленные песчаниками и алевролитами. Их перекрывают мелко- и среднезернистые пески четвертичного возраста, подстилающиеся пачкой гравийно-галечниковых отложений мощностью около 2.5 м. Межмерзлотный водоносный горизонт вскрыт здесь в интервале 53.0–76.0 м. Ниже залегают мерзлые крупно- и мелкозернистые песчаники юрского возраста с температурой –0.1...–0.2 °С.

В зоне транзита, протяженность которой более 1.5 км, пробурены две скважины. В одной из них (скв. 14Е/14) талые породы зафиксированы на глубине 13 м, их подошва не была вскрыта при глубине заложения скважины 30 м. Скважина оборудована автоматической станцией регистрации температуры и уровня подземных вод. Замеры проводятся круглогодично каждые 3 часа.

Вторая скважина (1Е/76) глубиной 67 м вскрыла межмерзлотный водоносный горизонт в интервале глубин 24.5–55.4 м. Впоследствии скважина была переоборудована в геотермическую. Измерения температуры пород проводятся в ней 1 раз в квартал.

В области питания, между озерами Эльген и Абага-Кюэль, по данным бурения гидрогеологической скважины 1/07 глубиной 30 м, водоносные породы залегают на глубине 23.9 м. Скважина из талых пород не вышла.

Три скважины глубиной от 10 до 40 м, пробуренные в районе исследований, полностью пройдены в многолетнемерзлых породах, что свидетельствует о не повсеместном распространении межмерзлотного талика.

Для уточнения плановых границ межмерзлотного водоносного горизонта в области его питания и транзита в 2014 г. были проведены геофизические исследования методом электромагнитной томографии. Работы проводились с использованием многоканальной, многоэлектродной электроразведочной аппаратуры Syscal-Pro. Всего было выполнено два профиля общей протяженностью более 2.1 км.

Геотермические наблюдения на площади работ проводятся ежеквартально по семи скважинам. Глубина геотермических скважин составляет от 5.5 до 40.0 м. Измерения температуры грунтов по глубине проводятся с шагом замеров: первые 5 м – через 0.5 м, с 5 до 15 м – через 1 м и далее через каждые 5 м. Одна из скважин (скв. 2L) оборудована станцией автоматической регистрации температуры пород с фиксацией данных через каждые 3 часа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

В ходе буровых работ установлено, что межмерзлотный водоносный талик распространен локально, а его кровля залегают на разных глубинах. Так, вблизи участка разгрузки подземных вод глубина залегания водоносных пород составляет 53.0 м (скв. 7/05), а мощность обводненных отложений 23.0 м, из них 13.6 м сложены породами юрского возраста. В этом же месте отмечена максимальная величина напора подземных вод – 38.8 м. Минимальная мощность ММП (13.0 м), перекрывающих талик, отмечена в области транзита межмерзлотных вод (скв. 14Е/14) при величине напо-

Результаты химико-аналитических исследований проб воды

Место и дата отбора пробы	pH	Eh	Электропроводность	Единицы измерения	Содержание катионов						Содержание анионов						Жесткость общая	Сумма минер. веществ	Ba ²⁺	Li	Sr ²⁺	F ⁻	HPO ₄ ⁻
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻								
Оз. Эльген 07.09.2016	8.44	506	570.0	мг/л	9.1	7.5	88.0	1.0	0.4	241.6	14.3	0.1	30.1	0.3	0.4	271.9	0.0	0.0	0.1	1.4	0.2		
				мг-экв./л % (мг-экв./л)	0.5	0.6	3.8	0.0	0.0	4.0	0.5	0.0	0.8	0.0	0.0	1.1							
Оз. Абага-Кюэль 07.09.2016	7.07	468	400.0	мг/л	11.3	5.0	28.0	1.2	0.4	116.0	0.0	0.2	20.9	0.0	0.5	125.4	0.1	0.0	0.1	1.3	0.2		
				мг-экв./л % (мг-экв./л)	0.6	0.4	1.2	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	1.0							
Ист. Ерюю 07.09.2016	6.96	475	300.0	мг/л	11.2	4.7	23.0	1.2	0.3	106.3	0.0	0.8	10.9	0.0	3.0	108.2	0.0	0.0	0.1	0.7	0.2		
				мг-экв./л % (мг-экв./л)	0.6	0.4	1.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.9							
Скв. 14Е/14 07.09.2016	7.71	307	400.0	мг/л	12.6	9.9	39.0	2.8	0.1	145.0	0.0	2.6	30.1	0.0	6.0	175.6	0.1	0.0	0.1	0.6	0.2		
				мг-экв./л % (мг-экв./л)	0.6	0.8	1.7	0.1	0.0	2.4	0.0	0.1	0.8	0.0	0.1	1.4							

Исполнитель: Л.Ю. Бойцова, О.В. Шепелева (лаборатория подземных вод и геохимии криолитозоны Институт мерзлотоведения СО РАН).
Дата анализа: 13.10.2016 г.

ра подземных вод 1.75 м. Максимальная же вскрытая мощность талика была зафиксирована в скв. 1Е/76 – 30.9 м при величине напора подземных вод 10.4 м.

По результатам одиночных пробных откачек в скважинах были определены значения коэффициента водопроницаемости T водоносного горизонта ($T = 100-111 \text{ м}^2/\text{сут}$) и удельного дебита q скважин ($q = 0.8-1.1 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м})$). На основе многолетних режимных наблюдений за дебитом источника подземных вод Ерюю рассчитан коэффициент пьезопроницаемости (уровнепроницаемости) водовмещающих пород, который составил $1.02 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$ [Семерня, 2016].

Результаты химико-аналитических исследований проб воды, отобранных из озер, скважин и из источника подземных вод Ерюю, свидетельствуют о том, что химический тип воды не изменяется от области питания до области разгрузки и является стабильным гидрокарбонатно-натриевым (см. таблицу).

При интерпретации геофизических данных были выявлены плановые границы талика (рис. 2) и сделаны следующие заключения.

1. В пределах исследуемого разреза диапазон измеренных удельных электрических сопротивлений (УЭС) находится в пределах 50–50 000 Ом·м. Водоносные талые пески, согласно нашим опытным данным и данным предыдущих исследователей [Баулин и др., 1984; Захаренко и др., 2012], имеют диапазон УЭС 50–2000 Ом·м. Высокотемпературные мерзлые пески ($-0.2 \text{ }^\circ\text{C}$) находятся в диапазоне УЭС 2000–10 000 Ом·м, а высокольдистые пески – 10 000–50 000 Ом·м.

2. В области транзита межмерзлотных вод (профиль А–А1) водоносный горизонт имеет вытянутую форму шириной около 650 м. Кровля водоносного горизонта залегает на глубинах от 13 до 30 м. Его подошву методом геоэлектрической томографии зафиксировать не удалось.

3. В области питания межмерзлотный водоносный горизонт (профиль В–В1) имеет также вытянутую форму при ширине около 500 м. Кровля его залегает на глубине от 0 до 24 м. В 150 м к востоку от линии простирания озер Эльген и Абага-Кюэль обнаружена субаэральная таликовая зона, через которую, вероятно, происходит питание межмерзлотного водоносного талика водами надмерзлотного стока. Глубина залегания подошвы водоносного горизонта на данном участке также не установлена.

Формирование субаэрального талика между озерами Эльген и Абага-Кюэль не единично. В пределах бестяхской террасы р. Лена в районе источника подземных вод Улахан-Тарын, расположенного в 15 км севернее источника Ерюю, зафиксировано образование подобной субаэральной талой зоны [Гагарин, 2015]. По мнению авторов, ее

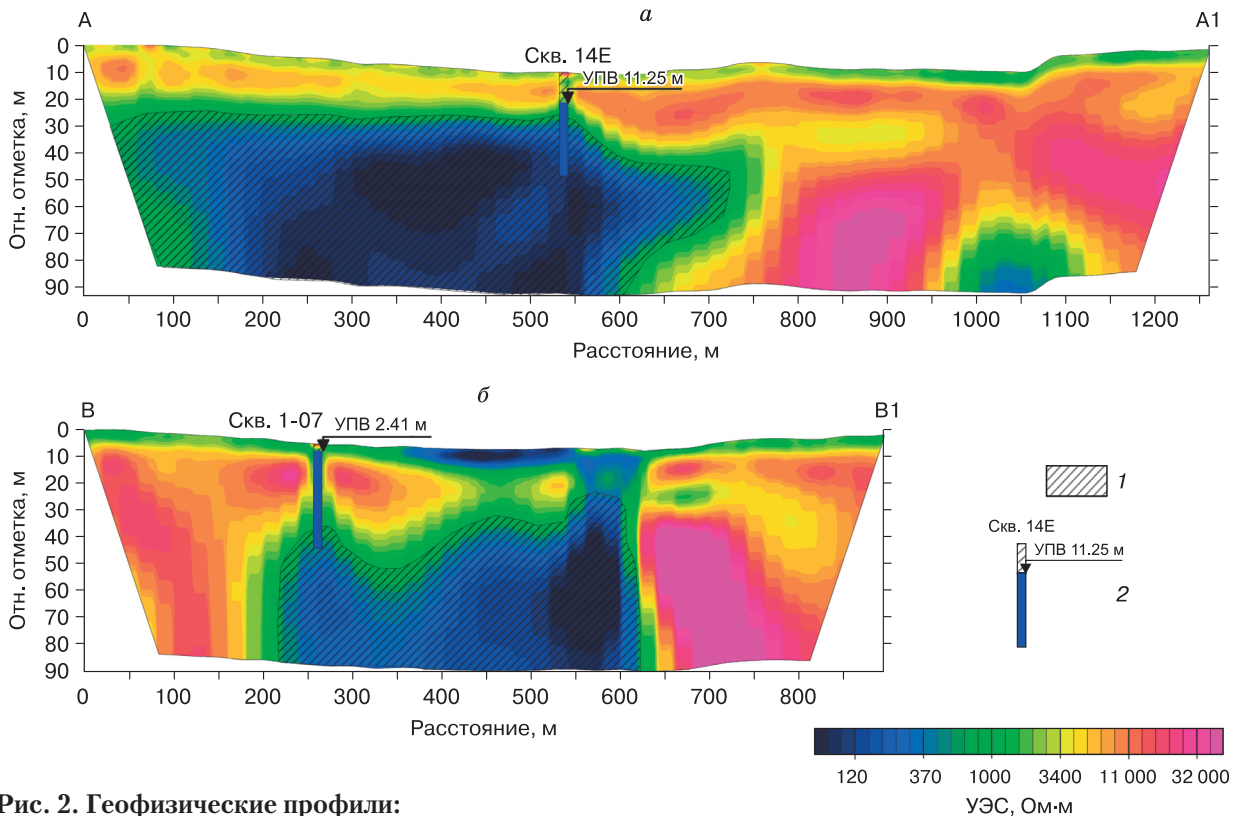


Рис. 2. Геофизические профили:

a – в области транзита (линия А–А1 на рис. 1); *б* – в области питания (линия В–В1 на рис. 1); 1 – водоносный горизонт; 2 – скважина и ее номер (УПВ 11.25 м – уровень подземных вод и его значение).

формирование связано с интенсивным выпадением летних атмосферных осадков за сравнительно короткое время, значительно пополняющих влагозапасы сезонноталого слоя (СТС). При этом надмерзлотный сток существует в течение всей зимы, а сезонное промерзание ограничивается 2.0–2.5 м, обеспечивая зимний напор в этом водоносном горизонте величиной 0.5 м.

На основе новой криогидрогеологической информации была построена гидрогеологическая карта, на которой отражены плановые границы распространения межмерзлотного водоносного горизонта (см. рис. 1) и криогидрогеологический разрез изучаемой территории (рис. 3). Отмечено, что максимальная мощность межмерзлотного водоносного горизонта (более 50 м), согласно данным геофизических исследований, отмечается в областях питания и транзита подземных вод.

Вытянутую форму межмерзлотного талика можно объяснить тем, что он представляет собой погребенный эоловыми песками подрусловой надмерзлотный талик древней гидросети, некогда развитой на бестяжской террасе р. Лена. Подобная гипотеза формирования межмерзлотных вод на территории Центральной Якутии детально изложена в работе А.А. Галанина [2015] и заключается

в относительно быстром погребении под активными дюнными комплексами надмерзлотных подрусловых и подрусовых таликов каргинского термохрона с последующей их консервацией сухими песками, характеризующимися крайне низкой теплопроводностью, что способствует сохранению таликов в условиях отрицательных средних годовых температур воздуха.

По данным, полученным со станции автоматической регистрации уровня подземных вод, установленной в скв. 14Е/14, амплитуда его колебаний в годовом цикле составляет 0.54 м. Максимальное значение глубины залегания уровня (11.21 м) наблюдалось 29.04.2015 г., а минимальное (11.75 м) – 18.08.2015 г. (рис. 4). Незначительная амплитуда колебаний в годовом цикле, вероятно, связана с наличием участков постоянного питания и разгрузки подземных вод.

Анализируя полученный график динамики уровня подземных вод, можно выделить три периода.

Начало первого периода (см. рис. 4, I) соответствует переходу среднесуточной температуры воздуха через 0 °С в отрицательную сторону. С октября до конца марта на участке естественной разгрузки подземных вод формируется наледь [Се-

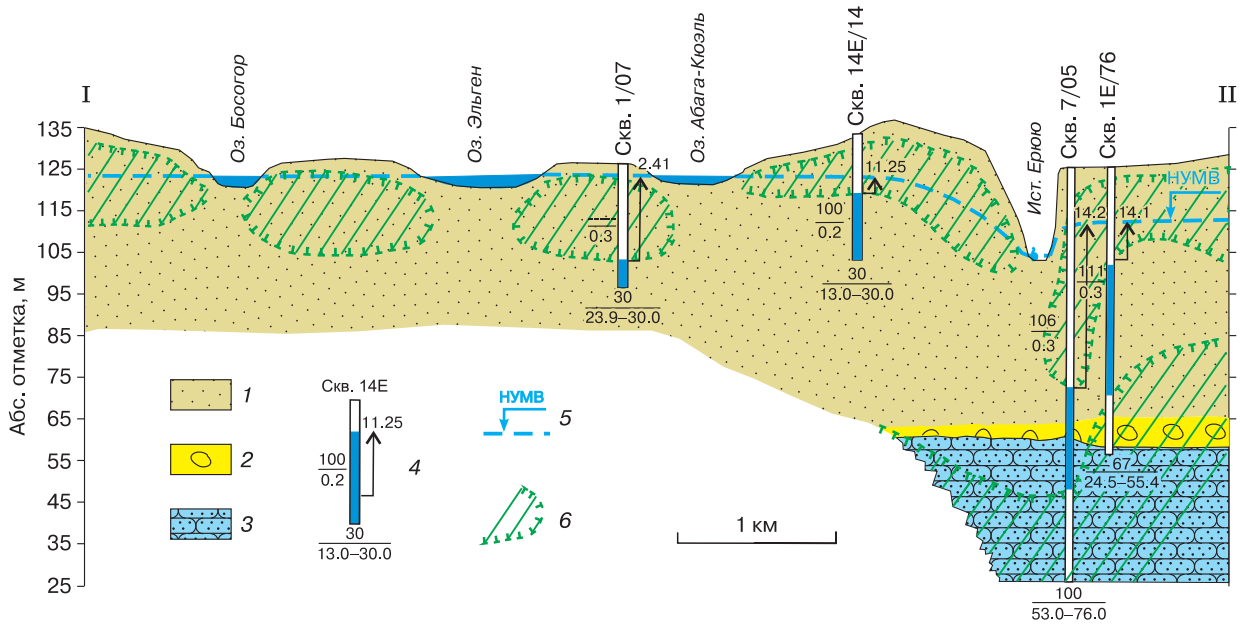


Рис. 3. Криогидрогеологический разрез исследуемой территории (линия I–II на рис. 1).

1 – аллювиальные пески кварц-полевошатовые мелко- и среднезернистые, мавринская свита (alQ_{II}^3mv); 2 – аллювиальные гравийно-галечниковые отложения изверженных и осадочных пород, бестяхская свита ($alQ_1^{1-3}bs$); 3 – песчаники мелко- и крупнозернистые с прослоями алевrolита (J_1); 4 – гидрогеологическая скважина (вверху – номер, внизу – глубина скважины/интервал вскрытия водоносного горизонта, справа – глубина залегания статического уровня, слева – в числителе коэффициент водопроницаемости ($m^2/сут$), в знаменателе – минерализация ($г/дм^3$)); 5 – напорный уровень межмерзлотных вод; 6 – многолетнемерзлые породы (бергштрих направлен в сторону промороженной толщи).

мерня, 2016]. Повышение уровня подземных вод связано с ростом гидростатического давления в водоносном горизонте вследствие частичного промерзания естественных участков разгрузки подземных вод и началом формирования наледи.

Второй период (см. рис. 4, II) начинается в конце марта и продолжается до освобождения выходов подземных вод от наледного льда (вторая половина мая). Резкое понижение уровня подземных вод в конце марта соответствует началу интенсивного растрескивания ледяных бугров пучения, формирующихся вдоль основного русла ручья, и активным излиянием воды через формируемые трещины. Растрескивание бугров в этот период обусловлено максимальной величиной гидростатического давления в водоносном горизонте. В период перехода средней суточной температуры воздуха через $0^\circ C$ в сторону положительных значений (с 23 по 27 апреля) наблюдаются максимальные амплитуды колебаний уровня подземных вод (до 0.32 м). Объяснить это можно тем, что во время дневных весенних оттепелей происходит оттаивание льда на участках выходов подземных вод, а в ночные заморозки они опять покрываются льдом, затрудняя естественную разгрузку, вследствие чего вновь происходит повышение гидростатического давления в водоносном горизонте и, соответственно, подъем уровня воды в скважине.

Третий период (см. рис. 4, III) наступает во второй половине мая и продолжается до конца августа–начала сентября. Характеризуется он сни-

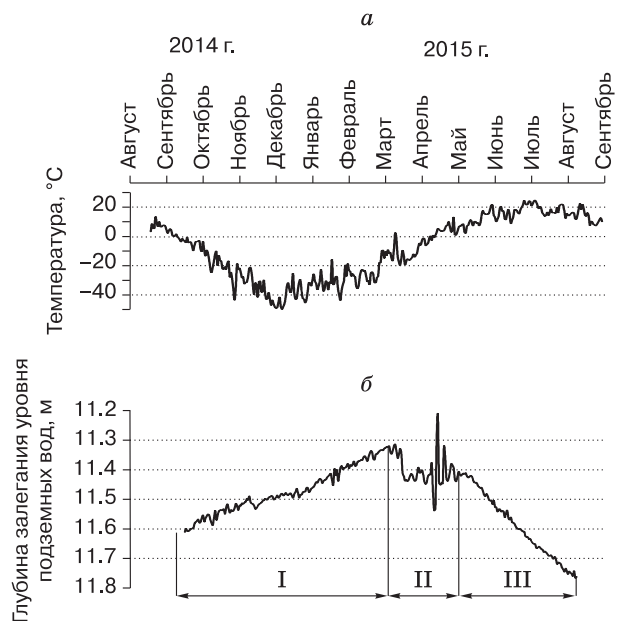


Рис. 4. Динамика средней суточной температуры воздуха и уровня подземных вод.

I–III – периоды изменения уровня (пояснения в тексте).

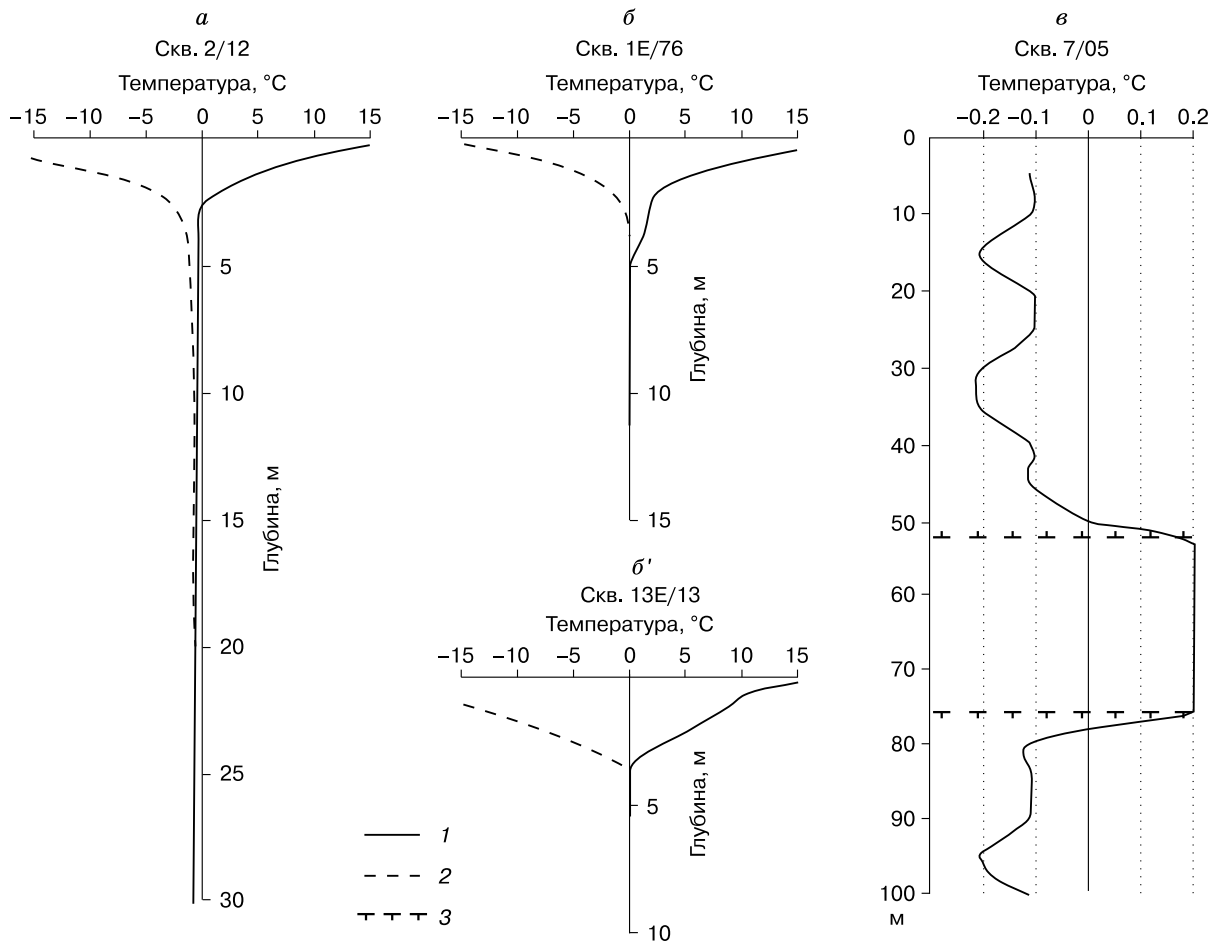


Рис. 5. Результаты геотермических наблюдений в скважинах.

a – характерные огибающие температурных колебаний в скважинах, расположенных вне области распространения межмерзлотного водоносного горизонта; *б, б'* – то же в скважинах, расположенных в пределах площади развития межмерзлотного водоносного горизонта; *в* – разовый замер температуры в скв. 7/05, вскрывшей межмерзлотный водоносный горизонт от кровли до его подошвы (по данным сотрудников Якутской поисково-съёмочной экспедиции, 11.07.2005 г.); 1 – огибающая положительных значений; 2 – огибающая отрицательных значений; 3 – многолетнемерзлые породы (бергштрих направлен в сторону промороженной толщи).

жением уровня подземных вод, которое происходит со стабильной скоростью 4–5 мм/сут. За это время уровень понижается на 0.35 м. В сентябре величина гидростатического напора подземных вод в области транзита межмерзлотных вод составляет 1.25 м над кровлей водоносного горизонта.

Таким образом, с октября по май происходит аккумуляция запасов подземных вод межмерзлотного водоносного горизонта за счет сокращения размеров очагов разгрузки при промерзании горных пород и формирования наледи, выступающей в роли барьера для свободного стока подземных вод. С наступлением теплого периода года, началом таяния наледи и освобождением выходов подземных вод ото льда начинается сработка запасов, накопившихся в талике в зимний период.

На основе геотермических наблюдений установлено, что площадь, в пределах которой раз-

вита межмерзлотная таликовая зона, отличается по геотермическому состоянию от окружающей территории. Так, в скважинах, расположенных за пределами водоносного горизонта (рис. 5, *a*), мощность СТС пород варьирует в пределах 2.5–3.5 м, а подошва слоя годовых теплооборотов залегает на глубинах от 6.5 до 10.0–15.0 м с температурой горных пород $-0.3...-0.6$ °С [Семерня, 2014].

В пределах площади распространения межмерзлотного водоносного горизонта глубина СТС варьирует от 3.0 до 5.0 м (см. рис. 5, *б, б'*). Следует отметить, что годовые колебания температуры горных пород на этом участке распространяются в том же диапазоне (3–5 м) и их глубина совпадает с глубиной сезонноталого слоя. Причем, по наблюдениям в скв. 1E/76, в течение зимы происходит надмерзлотный сток на глубине от 3 до 5 м (см. рис. 5, *б'*). Подобное предположение авторы

объясняют резким сокращением амплитуды колебаний температуры с глубины 3 м (см. рис. 5, б'), что связано с фазовыми превращениями влаги в течение зимних месяцев. Температура пород в интервале от подошвы СТС до кровли водоносного горизонта не изменяется с глубиной и соответствует температуре пород на подошве слоя годовых теплооборотов (0...–0.2 °С).

Таким образом, совпадение мощности сезонноталого слоя с глубиной залегания подошвы годовых теплооборотов при температуре пород на данной глубине от 0 до –0.2 °С может рассматриваться в качестве поискового признака подземных вод межмерзлотного типа на площади бестяхской террасы.

ВЫВОДЫ

В результате обработки данных, полученных в ходе буровых, геофизических и гидрогеологических исследований в районе круглогодично действующего источника межмерзлотных вод Ерюю, установлено следующее.

Межмерзлотный водоносный горизонт, воды которого формируют источник, представляет собой трубообразную таликовую зону, тяготеющую к линии простираения серии озер Эльген, Абага-Кюэль и Босогор. Ширина талика изменяется от 500 до 900 м, глубина залегания его кровли – от 13 до 53 м, а подошва фиксируется на глубинах 55.4 м и более.

На основе выполненного геофизического профилирования между озерами Эльген и Абага-Кюэль выявлено существование субаэрального талика шириной около 100 м, формирование которого в современных климатических условиях и ландшафтной обстановке бестяхской террасы р. Лена вполне допустимо [Гагарин, 2015].

По данным опытно-фильтрационных работ выявлена однородность фильтрационных параметров водоносного горизонта, что говорит об идентичности водовмещающих отложений на всей площади его распространения.

Повышение напора подземных вод в скважинах, расположенных в области транзита межмерзлотных вод, связано с формированием наледи в урочище источника, которая выступает в роли своеобразного барьера, препятствующего свободной разгрузке подземных вод. Далее, когда в водоносном горизонте достигается максимальное гидростатическое давление, начинается сработка (понижение) уровня подземных вод за счет формирования трещин в теле наледи, через которые происходят интенсивные излияния подземных вод.

Результаты геотермических наблюдений позволили выявить один из поисковых признаков межмерзлотных водоносных горизонтов, выражающийся в совпадении глубин сезонного протаивания и подошвы слоя годовых теплооборотов при

температуре горных пород на этой глубине от 0 до –0.2 °С.

Особенности мерзлотно-гидрогеологического строения рассматриваемой территории свидетельствуют, что наиболее восприимчивой к техногенному воздействию является область питания межмерзлотного водоносного горизонта, где развита субаэральная таликовая зона, а нарушение условий разгрузки подземных вод может отразиться на условиях аккумуляции запасов подземных вод за счет изменения режима формирования наледи.

Работа выполнена в рамках проекта НИР VII.69.2.1, при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 15-45-05053_р_восток_а, 17-05-00956).

Литература

- Анисимова Н.П.** Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии). М., Наука, 1971, 195 с.
Anisimova, N.P., 1971. Formation of the Chemical Composition of Ground Water in Taliks (by the example of Central Yakutia). Nauka, Moscow, 195 pp. (in Russian)
- Анисимова Н.П.** Криогидрохимические особенности мерзлой зоны. Новосибирск, Наука, 1981, 153 с.
Anisimova, N.P., 1981. Cryohydrochemical Features of Permafrost Zone. Nauka, Novosibirsk, 153 pp. (in Russian)
- Анисимова Н.П.** Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии / Н.П. Анисимова, Н.А. Павлова. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2014, 198 с.
Anisimova, N.P., Pavlova, N.A., 2014. Hydrogeochemical Studies of Permafrost zone in Central Yakutia. Academic Publishing House "Geo", 198 pp. (in Russian)
- Балобаев В.Т.** Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования / В.Т. Балобаев, Л.Д. Иванова, Н.М. Никитина, В.В. Шепелев, Н.С. Ломовцева, В.И. Скютин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, фил. "Гео", 2003, 137 с.
Balobaev, V.T., Ivanova, L.D., Nikitina, N.M., Shepelev, V.V., Lomovtseva, N.S., Skutin, V.I., 2003. Ground Waters of Central Yakutia and Prospects of their Use. Izd-vo SO RAN, filial "Geo", Novosibirsk, 137 pp. (in Russian)
- Баулин Ю.И.** Рекомендации по применению геофизических методов для определения инженерно-геологических характеристик мерзлых дисперсных грунтов / Ю.И. Баулин, А.Н. Боголюбов, Ю.Д. Зыков. М., Стройиздат, 1984, 34 с.
Baulin, Yu.I., Bogolyubov, A.N., Zykov, Yu.D., 1984. Recommendations for Applications of Geophysical Methods to Identification of Engineering-Geological Characteristics of Frozen Fine-grained Soils. Stroizdat, Moscow, 34 pp. (in Russian)
- Бойцов А.В.** Геокриология и подземные воды криолитозоны. Тюмень, ТюмГНГУ, 2011, 176 с.
Boitsov, A.V., 2011. Geocryology and Ground Waters of Permafrost Zone. TyumGNGU, Tyumen, 176 pp. (in Russian)
- Гагарин Л.А.** Оценка современных условий формирования субаэральных таликов в Центральной Якутии // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии: Материалы Всерос. совещания по подземным водам Востока России. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2015, с. 76–80.
Gagarin, L.A., 2015. Assessment of modern conditions for subaerial taliks formation in Central Yakutia, in: Fundamental and Applied Problems of Hydrogeology: Proceedings of All-Russian symposium on ground waters of Russia's East. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, pp. 76–80. (in Russian)

Гагарин Л.А., Семерня А.А., Лебедева Л.С. Оценка термосуффозионных процессов в Центральной Якутии на примере участка Улахан-Тарын // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология, 2016, № 3, с. 252–262.

Gagarin, L.A., Semernya, A.A., Lebedeva, L.S., 2016. The study of thermosuffosion processes in Central Yakutia: a case study of Ulakhan-Taryn site. Geoeologia. Inzhenernaya geologia. Gidrogeologia. Geokriologia, No. 3, 252–262.

Галанин А.А. Криогенно-эоловый механизм формирования водоносных межмерзлотных таликов Центральной Якутии // Материалы XXI совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2015, с. 80–84.

Galanin, A.A., 2015. The Aeolia-cryogenic origin of inter-permafrost taliks as underground water sources, in: Proceedings of the XXI symposium on ground waters of Siberia and the Far East. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, pp. 80–84. (in Russian)

Захаренко В.Н., Краковецкий Ю.К., Парначев В.П., Попов Л.Н. Об электропроводности многолетнемерзлых пород // Вестн. Том. гос. ун-та, 2012, № 359, с. 182–187.

Zakharenko, V.N., Krakovetsky, Yu.K., Parnachev, V.P., Popov, L.N., 2012. On electrical conductivity of perennially frozen deposits. Vestnik Tomskogo Gos. Universiteta, No. 359, pp. 182–187.

Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск, Наука, 1984, 123 с.

Ivanov, M.S., 1984. Cryogenic Structure of Quaternary Deposits of the Lena-Aldan Depression. Nauka, Novosibirsk, 123 pp. (in Russian)

Павлова Н.А., Колесников А.Б., Ефремов В.С. Состав межмерзлотных вод в Центральной Якутии // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Томск, Изд-во НТЛ, 2012, с. 162–165.

Pavlova, N.A., Kolesnikov, A.B., Efremov, V.S., 2012. Ground-water chemistry in intrapermafrost taliks in Central Yakutia, in: Geologicheskaya evoliutsia vzaimodeistvia vody s gornymi porodami (Geological evolution of the water – rocks interaction). Izd-vo NTL, Tomsk, pp. 162–165. (in Russian)

Семерня А.А. Оценка геотермических условий многолетнемерзлых пород в области развития межмерзлотных водоносных горизонтов на бестяхской террасе // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. “Геология и минеральные ресурсы Северо-Востока России” / Отв. ред. Л.И. Полуфунтикова. Якутск, Изд. дом СВФУ, 2014, с. 423–428.

Semernya, A.A., 2014. The study of geothermal conditions of permafrost in the area of intrapermafrost aquifers distribution within Bestyakh terrace, in: Polufuntikova, L.I. (Ed.). Proceeding of All-Russian scientific practical conference “Geology and mineral resources of Russia’s North-East”. Izdat. Dom SVFU, Yakutsk, pp. 423–428. (in Russian)

Семерня А.А. Оценка ресурсов межмерзлотных вод в Центральной Якутии по данным наблюдений за родниковым стоком (на примере Центральной Якутии) // Наука и образование, 2016, вып. 1 (81), с. 41–47.

Semernya, A.A., 2016. Intrapermfrost water resources assessment from the results of observations on spring discharges (by the example of Central Yakutia). Nauka i Obrazovanie, Iss. 1 (81), 41–47.

Семерня А.А., Гагарин Л.А. Оценка реакции межмерзлотных водоносных горизонтов Центральной Якутии на современную динамику климата // Материалы XXI совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2015, с. 154–159.

Semernya, A.A., Gagarin, L.A., 2015. The study of intrapermafrost aquifers of Central Yakutia response to recent climate dynamics, in: Proceedings of the XXI symposium on ground waters of Siberia and the Far East. Publishing House of Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, pp. 154–159. (in Russian)

Скрябин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б. Мониторинговые исследования температурного режима грунтов Центральной Якутии // География и природ. ресурсы, 1998, № 2, с. 49–55.

Skryabin, P.N., Varlamov, S.P., Skachkov, Yu.B., 1998. Monitoring studies of soils thermal regime in Central Yakutia. Geografia i Prirodnye Resursy, No. 2, 49–55.

Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М., Изд-во АН СССР, 1959, 144 с.

Soloviev, P.A., 1959. Cryolithic Zone of the Northern Part of Lena-Amga Interfluvium Area. Izd-vo AN SSSR, Moscow, 144 pp. (in Russian)

Шепелев В.В. Особенности разгрузки подземных вод мерзлой зоны // Вопросы гидрогеологии криолитозоны. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1975, с. 45–56.

Shepelev, V.V., 1975. Characteristic Features of Ground Waters Discharge in the Permafrost Zone, in: Questions of Hydrogeology of Permafrost Zone. Institut Merzlotovedenia SO AN SSSR, Yakutsk, pp. 45–56. (in Russian)

Шепелев В.В. О взаимосвязи озер и подземных вод на массивах развиваемых песков Центральной Якутии // Гидрогеологические условия мерзлой зоны. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1976, с. 46–59.

Shepelev, V.V., 1976. On a relationship between lakes and ground waters in sand deflation areas of Central Yakutia, in: Gidrogeologicheskie uslovia merzloy zony. (Hydrogeological Conditions of Permafrost Zone). Institut Merzlotovedenia SO AN SSSR, Yakutsk, pp. 46–59. (in Russian)

Шепелев В.В. Родниковые воды Якутии. Якутск, Кн. изд-во, 1987, 128 с.

Shepelev, V.V., 1987. Spring Waters of Yakutia. Kn. izdat-vo, Yakutsk, 128 pp. (in Russian)

Шепелев В.В. Мониторинг подземных вод криолитозоны / В.В. Шепелев, А.А. Бойцов, Н.Г. Оберман и др. Якутск, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002, 172 с.

Shepelev, V.V., Boitsov, A.A., Oberman, N.G. et al., 2002. Monitoring of ground waters of permafrost zone. Izd-vo Instituta Merzlotovedenia SO AN SSSR, Yakutsk, 172 pp. (in Russian)

Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2011, 169 с.

Shepelev, V.V., 2011. Suprapermafrost water in permafrost zone. Academic Publishing House “Geo”, Novosibirsk, 169 pp. (in Russian)

Шепелев В.В., Ломовцева Н.С. Озера криолитозоны бестяхской террасы р. Лены и их взаимосвязь с подземными водами // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ Северной Евразии. Якутск, Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1981, с. 106–115.

Shepelev, V.V., Lomovtseva, N.S., 1981. Lakes in the permafrost area of Bestyakh terrace of the Lena River and their interrelations with ground waters, in: Tematicheskie i regionalnye issledovaniya myorzlykh tolshch Severnoy Evrazii (Thematic and regional studies of permafrost strata of Northern Eurasia). Izd-vo Instituta Merzlotovedenia SO AN SSSR, Yakutsk, pp. 106–115. (in Russian)

Поступила в редакцию
23 января 2017 г.