

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ

УДК: 551.34; 556.314
DOI: 10.15372/KZ20240403
EDN: MGVJTK

**ПОДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ**

М.А. Федоров*, А.А. Федоров, Н.А. Павлова

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная 36, Россия*

*Автор для контакта; e-mail: FedorovMA@mpi.ysn.ru

Цель работы состояла в уточнении гидрогеологических условий малоизученной северо-восточной части Лено-Амгинского междуречья. Для этого проведен анализ архивных (1965–1995 гг.) и опубликованных данных о подмерзлотных водах и мощности многолетнемерзлых пород на территории Чурапчинского и Таттинского районов Республики Саха (Якутия), с привлечением новых результатов полевых исследований (2009–2022 гг.). Основой для исследования послужили результаты бурения на подмерзлотные воды 19 поисковых скважин глубиной 450–650 м. Показано различие пьезометрических напоров и дана характеристика химического состава подмерзлотных вод юрского и среднекембрийского водоносных комплексов. Обосновывается смещение ранее установленной границы между этими водоносными комплексами на 50–80 км севернее. Выделена зона с особыми мерзлотно-гидрогеологическими условиями, приуроченная к Татта-Томпонскому тектоническому разлому. Предположительно, дизьюнктив формировался в условиях горизонтального сжатия, что привело к уплотнению пород, их пониженной проницаемости вдоль разлома и увеличению интенсивности промерзания.

Ключевые слова: подмерзлотные воды, среднекембрийский водоносный комплекс, юрский водоносный комплекс, Татта-Томпонский разлом, пьезометрический уровень, химический состав.

Ссылка для цитирования: Федоров М.А., Федоров А.А., Павлова Н.А. Подмерзлотные воды северо-восточной части Лено-Амгинского междуречья // Криосфера Земли, 2024, т. XXVIII, № 4, с. 27–38. DOI: 10.15372/KZ20240403. EDN: MGVJTK.

**SUBPERMAFROST GROUNDWATER IN THE NORTHEASTERN PART
OF THE LENA-AMGA INTERFLUVE**

М.А. Fedorov*, А.А. Fedorov, Н.А. Pavlova

*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Merzlotnaya St. 36, Yakutsk, 677010 Russia*

*Corresponding author; e-mail: FedorovMA@mpi.ysn.ru

The purpose of this work was to specify the hydrogeological conditions in the poorly studied northeastern part of the Lena-Amga interfluve. We analyzed archival (1965–1995) and published data on subpermafrost waters and permafrost thickness in the Churapcha and Tattinsky districts of the Republic of Sakha (Yakutia), including new field studies (2009–2022). The research was based on the data from 19 groundwater exploration wells, 450 to 650 m in depth. It is shown that the Jurassic and Middle Cambrian aquifer complexes differ in piezometric pressures and chemical composition. Based on the new information, it is suggested that the boundary between these two aquifer complexes should be shifted northward by 50–80 km. A zone with distinct specific hydrogeological conditions confined to the Tatta-Tompo fault was identified. Presumably, the fault was formed under conditions of horizontal compression, which resulted in the compaction of the rocks and their reduced permeability along the fault, as well as in the increased freezing intensity in the strata with a low water content during periods of decreased global temperatures.

Keywords: groundwater, Middle Cambrian aquifer system, Jurassic aquifer system, Tatta-Tompo fault, hydrostatic level, chemical composition.

ВВЕДЕНИЕ

В Центральной Якутии наличие крупной реки Лены во многом решает вопросы водообеспечения основных населенных пунктов Республики Саха (Якутия). На большей же части региона население испытывает дефицит в качественной хозяйственно-питьевой воде, поскольку организовать надежное водоснабжение поселков и деревень за счет поверхностных вод невозможно из-за сезонности стока малых рек и высокой подверженности загрязнению водотоков и водоемов. Особенно остро эта проблема стоит на правобережье р. Лены на Лено-Амгинском междуречье. В северо-восточной его части на территории площадью более 17.5 тыс. км² расположено более 20 населенных пунктов с населением около 10 тыс. человек.

Геолого-разведочные работы на Лено-Амгинском междуречье для оценки возможности обеспечения потребности населения в воде за счет подземных водоносных горизонтов были начаты сотрудниками Якутского геологического управле-

ния в 1965–1966 гг. В эти же годы Институт мерзлотоведения СО АН СССР проводил мерзлотно-гидрогеологические исследования в котловинах термокарстовых озер Чурапча и Имитте. Под руководством А.М. Федорова здесь были пробурены первые поисковые скважины на надмерзлотные воды. При изучении подзерных таликов был сделан вывод о бесперспективности заключенных в них подземных вод для организации питьевого водоснабжения из-за их повышенной минерализации и ограниченных запасов. Дальнейшими исследованиями таликов в термокарстовых котловинах Центральной Якутии были выявлены нестабильность химического состава подземных вод по разрезу, обусловленная сменой литологического состава водовмещающих пород и разными условиями их промерзания, а также высокие концентрации аммония, органических веществ и железа, повышенная жесткость воды [Анисимова, 1971; Федоров, 1976]. Было установлено, что после высыхания водоемов постепенное промерзание под ними замкнутых подзерных таликов сопровождается увеличением минерализации подземных вод [Анисимова, 1971]. При эксплуатации скважин, пробуренных в озерных котловинах, по мере отбора воды интенсифицируется промерзание осущеной части талика, и без искусственного восполнения запасов время эксплуатации водозаборов весьма ограничено [Федоров, Лаврентьев, 1985]. Кроме того, зачастую организовать зону санитарной охраны вокруг скважин на надмерзлотные воды подзерных таликов вблизи населенных пунктов бывает затруднительно.

Одним из вариантов организации питьевого водоснабжения населенных пунктов является освоение регионально распространенных подмерзлотных вод. Изучение водоносных комплексов, залегающих под толщей многолетнемерзлых пород в северной части Лено-Амгинского междуречья, началось с бурения скважин на территории с. Чурапча в 1965 г. и с. Йытык-Кюель в 1971 г. Результаты этих работ использованы при выделении в составе Якутского артезианского бассейна (АБ) гидрогеологических структур второго порядка, в числе которых были Алданское крыло Якутского артезианского бассейна с входящим в него Амгинским АБ и Лено-Вилюйский АБ, одним из которых являлся Нижнеалданский АБ [Подземные воды..., 1967; Гидрогеология..., 1970]. Позднее, при составлении “Карты мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири” [1984] коллективом авторов под руководством О.Н. Толстых границы между гидрогеологическими структурами были уточнены, а их названия частично изменены. В частности, Лено-Вилюйский АБ был разделен на Лено-Вилюйский АБ и Лено-Амгинский АБ. Граница между этими гидрогеологическими структурами была проведена по изме-

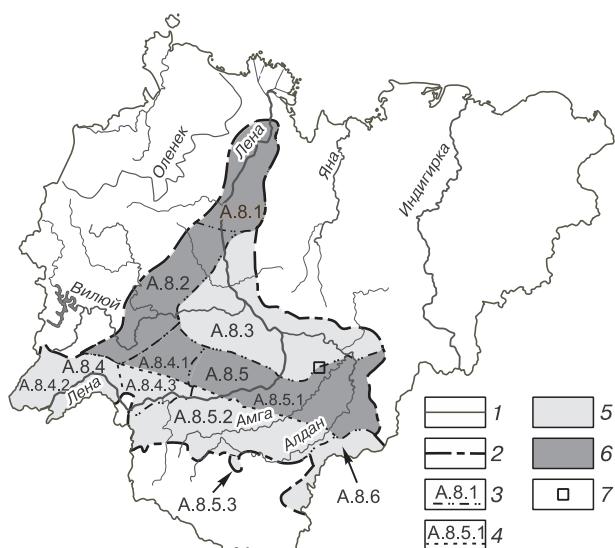


Рис. 1. Схема гидрогеологического районирования Якутского артезианского бассейна в пределах Якутии [Мерзлотно-гидрогеологические условия..., 1984].

Границы: 1 – территории Якутии; 2 – Якутского артезианского бассейна (гидрогеологический район I порядка); 3 – гидрогеологических районов II порядка и их индексы; 4 – гидрогеологических районов III порядка и их индексы; 5 – артезианские бассейны (АБ); 6 – криоартезианские бассейны (КАБ); 7 – район исследований. А.8 – Якутский АБ: А.8.1 – Нижнеленский КАБ; А.8.2 – Средневилюйский КАБ; А.8.3 – Лено-Вилюйский АБ; А.8.4 – Среднеленский КАБ: А.8.4.1 – Кемпендейский КАБ, А.8.4.2 – Нюйско-Джербинский АБ, А.8.4.3 – Березовский АБ; А.8.5 – Лено-Амгинский АБ: А.8.5.1 – Приленский КАБ, А.8.5.2 – Амгинский АБ, А.8.5.3 – Юхтино-Ыллымахский АБ; А.8.6 – Учу-ро-Майский АБ.

нению фациально-литологического состава пород подмерзлотных комплексов, а именно, по смене карбонатной фации отложений кембрийского возраста (Лено-Амгинский АБ) на терригенную, сложенную образованиями юрского возраста (Лено-Вилюйский АБ) [Мерзлотно-гидрогеологические условия..., 1984]. В настоящей статье описание гидрогеологических структур приведено согласно [Карта..., 1984] (рис. 1).

В дальнейшие 40 лет в пределах Лено-Амгинского и Лено-Вилюйского АБ сотрудниками ГУП РС (Я) ЯПСЭ, впоследствии преобразованном в АО “Якутскгеология”, были продолжены поисково-оценочные работы на подмерзлотные воды для решения вопросов организации водоснабжения населения. Точки бурения гидрогеологических скважин были приурочены к конкретным населенным пунктам и распределены неравномерно по территории исследований.

Целью работы являлось уточнение гидрогеологических условий малоизученной центральной части Лено-Амгинского междуречья на основе детального анализа архивных и опубликованных данных о подмерзлотных водах и распространении многолетнемерзлых пород на этой территории с привлечением новых результатов полевых исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При обобщении геологических, гидрогеологических, геокриологических и гидрохимических данных использованы результаты бурения 19 поисковых скважин на подмерзлотные воды. Скважины расположены в северо-восточной части Лено-Амгинского артезианского бассейна и юго-восточной окраине Лено-Вилюйского артезианского бассейна (см. рис. 1). Бурение проведено в период с 1965 по 2018 г. сотрудниками АО “Якутскгеология”, с 2009 г. – при непосредственном участии авторов статьи. Глубина скважин от 450 до 650 м. В интервале залегания многолетнемерзлых пород скважины пробурены сплошным забоем с промывкой водно-гипановым раствором. После начала поглощения бурового раствора бурение продолжалось колонковым способом с отбором керна и промывкой чистой водой. Для возможности проведения опытно-фильтрационных работ в скважинах неустойчивая часть разреза была обсажена. В наиболее водообильный интервал, определенный в ходе бурения, устанавливается сетчатый фильтр. Затем производилось освоение скважины и последующий комплекс опытных гидрогеологических работ.

Из 19 скважин девять вскрыли только юрский водоносный комплекс, четыре – нижнекембрийские водоносные породы, в пяти скважинах было проведено гидрохимическое и опытно-фильтрационное опробование совместного нижнеюрского и среднекембрийского комплексов. Одна из поисковых скважин глубиной 650 м подошву криогенного водоупора не вскрыла.

Длительность опытных одиночных откачек составляла 3–5 суток. По результатам опытно-фильтрационных работ были рассчитаны коэффициенты водопроводимости пород по графикам зависимости понижения уровня воды от времени для условий квазистационарного потока жидкости [Боревский и др., 1979]. При малой водообильности пород коэффициент водопроводимости рассчитывался по графику восстановления уровня после откачки. Большие понижения уровня воды во время опытно-фильтрационных работ при относительно невысоких дебитах откачек, значительное расстояние (от 2 до 50 км) между скважинами, невозможность использовать в качестве наблюдательных ранее пробуренные поисковые скважины из-за формирования в их стволе ледяной пробки мощностью 250–300 м и более – все это не позволило определить коэффициенты пьезопроводности пород экспериментальным способом. Этот параметр при оценке запасов был заимствован из справочной литературы [Справочное руководство..., 1971]. Сведения о положении уровня подмерзлотных вод в годовом и многолетнем цикле практически отсутствуют, за исключением единичных замеров в водозаборной скважине в с. Чурапча. По имеющимся данным, в 2017–2022 гг. колебания пьезометрического уровня подмерзлотных вод в ней не превышали 2 м.

При построении изолиний мощности многолетнемерзлых пород применялись данные бурения скважин на рассматриваемой территории.

Для характеристики химического состава подмерзлотных вод использованы результаты аналитических исследований водных проб, отобранных при опытно-фильтрационных работах. При лабораторных исследованиях подмерзлотных вод, выполненных в лабораториях АО “Якутскгеология” и Федерального государственного учреждения здравоохранения “Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия)”, применялись методы титрометрии, потенциометрии и капиллярного электрофореза.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Изучаемая территория расположена в Центральной Якутии в области сочленения абалахской эрозионно-аккумулятивной равнины с тунгюлюнской псевдотеррасой, которую относят к аллювиальной равнине [Камалетдинов, 1982; Гриненко и др., 1995]. Абсолютные отметки рельефа изменяются от 170 до 310 м. Отличительная особенность этих геоморфологических уровней – широкое распространение термокарстовых котловин с булгуннями.

В морфотектоническом отношении территория находится в пределах Нижне-Алданской депрессии и северной части Лено-Алданского плато [Государственная... карта..., 2021]. В состав Нижне-Алданской депрессии входит Усть-Алданская и примыкающая к ней с востока Таттинская впадина [Имаева и др., 2006]. Обе они имеют серповидную форму с вытянутым окончанием, врезаясь к юго-западу в Лено-Алданское плато. Согласно [Имаева и др., 2006], с востока Таттинская впадина ограничена Татта-Томпонским разломом, который смещает контуры Нижне-Алданской депрессии к западу. Таттинская впадина в северной части осложнена субширотной сдвиговой деформацией, а на востоке сочленяется с Лено-Алданским плато.

В геологическом строении осадочного чехла принимают участие образования нижнего палеозоя, мезозоя и кайнозоя [Геологическая карта..., 2000; Казакова и др., 2021; Маринов и др., 2022]. В основании изученного скважинами разреза залегают породы среднего кембрия. Они представлены плотными доломитами с прослойями известняков. На размытой поверхности карбонатных пород скважинами вскрыты терригенные отложения юры – разнозернистые песчаники, преимущественно кварц-полевошпатового состава, с редкими прослойями глинистых сланцев и песков [Подземные воды..., 2003]. В основании песчаников залегает песчано-конгломератовая толща мощностью от единиц до первых десятков метров, иногда с прослойями глин [Гриненко, Князев, 2008]. С юга на север и северо-запад происходит моноклинальное погружение нижнекембрийских и юрских пород. В этом же направлении наблюдается увеличение толщи кайнозойских образований, которые представлены разнозернистыми песками и глинями неогенового возраста, а также песчано-суглинистыми четвертичными отложениями. Мощность последних на изучаемой территории составляет 50–110 м [Иванов, 1984; Спектор, Спектор, 2002]. В приповерхностной части разреза аллювиальные и озерно-аллювиальные четвертичные образования обладают высокой льдистостью за счет текстурообразующих и повторно-жильных льдов.

Район исследований расположен в области сплошной криолитозоны. Мощность ее не выдержана. В южной части территории подошва многолетнемерзлых пород залегает на глубине 313–322 м, в северной – на глубине 396–480 м. Максимальные мощности криогенного водоупора, перекрывающего подмерзлотные водоносные горизонты, отмечены вблизи долины р. Татта. Здесь, по данным буровых работ, подошва многолетнемерзлых пород вскрыта на глубине 500–585 м. Одна из скважин глубиной 650 м, пробуренная вблизи с. Дябыла в 2014 г., не вышла из мерзлых

пород. Согласно проведенным геотермическим измерениям и расчету геотермического градиента, отрицательные температуры пород распространяются на глубину 750–780 м [Кириллин и др., 2022].

Под термокарстовыми озерами талики – несквозные. Их мощность до 40–50 м, редко 100 м. Присутствие в литологическом разрезе таликов частых глинистых прослоев определяет слабую водоотдачу пород и невысокие эксплуатационные возможности для добычи подземных вод. Надмерзлотные воды таликов, распространенные в пределах рассматриваемой территории, гидравлической связи с подмерзлыми водами, по-видимому, не имеют из-за наличия разделяющего их мощного криогенного водоупора.

ПОДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДОНОСНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В южной части рассматриваемой территории юрские отложения, представленные песчаниками с прослойями алевролитов, полностью проморожены. Под многолетнемерзлыми породами залегает водоносный карбонатный среднекембрийский комплекс. Его кровля располагается на глубинах от 313 м (с. Туора-Кюель) до 380 м (с. Диринг), а вскрытая мощность составляет 132–289 м (рис. 2, 3). Известняки и доломиты имеют разную степень трещиноватости и содержат трещинно-пластовые воды. Минимальные значения водопроводимости карбонатных отложений отмечаются вблизи Татта-Томпонского разлома, где они составляют $0.4 \text{ м}^2/\text{сут}$. По мере удаления от дизъюнктива водопроводимость пород возрастает до $26 \text{ м}^2/\text{сут}$. Глубина залегания пьезометрического уровня подмерзлотных вод среднекембрийского водоносного комплекса от поверхности земли изменяется от 9 до 107 м.

В северной и центральной частях изучаемой площади первым от поверхности региональным водоносным комплексом является юрский. Он залегает под толщей многолетнемерзлых пород на глубинах от 396 м (с. Бытык-Кюель) до 535 м (с. Черкех) (табл. 1). Его вскрытая мощность изменяется от 50 до 180 м. Подмерзлотные воды содержатся в песчаниках и алевролитах. По условиям фильтрации подземные воды относятся к трещинно-пластовым. По данным опытных откачек в скважинах, пробуренных вдоль Татта-Томпонского разлома, водопроводимость терригенных отложений составляет $0.3–1.0 \text{ м}^2/\text{сут}$ и увеличивается в северо-западном направлении до $15–21 \text{ м}^2/\text{сут}$. Пьезометрические уровни подземных вод в скважинах, вскрывших юрский водоносный комплекс, устанавливаются на глубинах 150–225 м от поверхности земли. В многолетнем цикле уровни подмерзлотных вод изменению практически не подвержены, о чем свидетельствуют замеры в

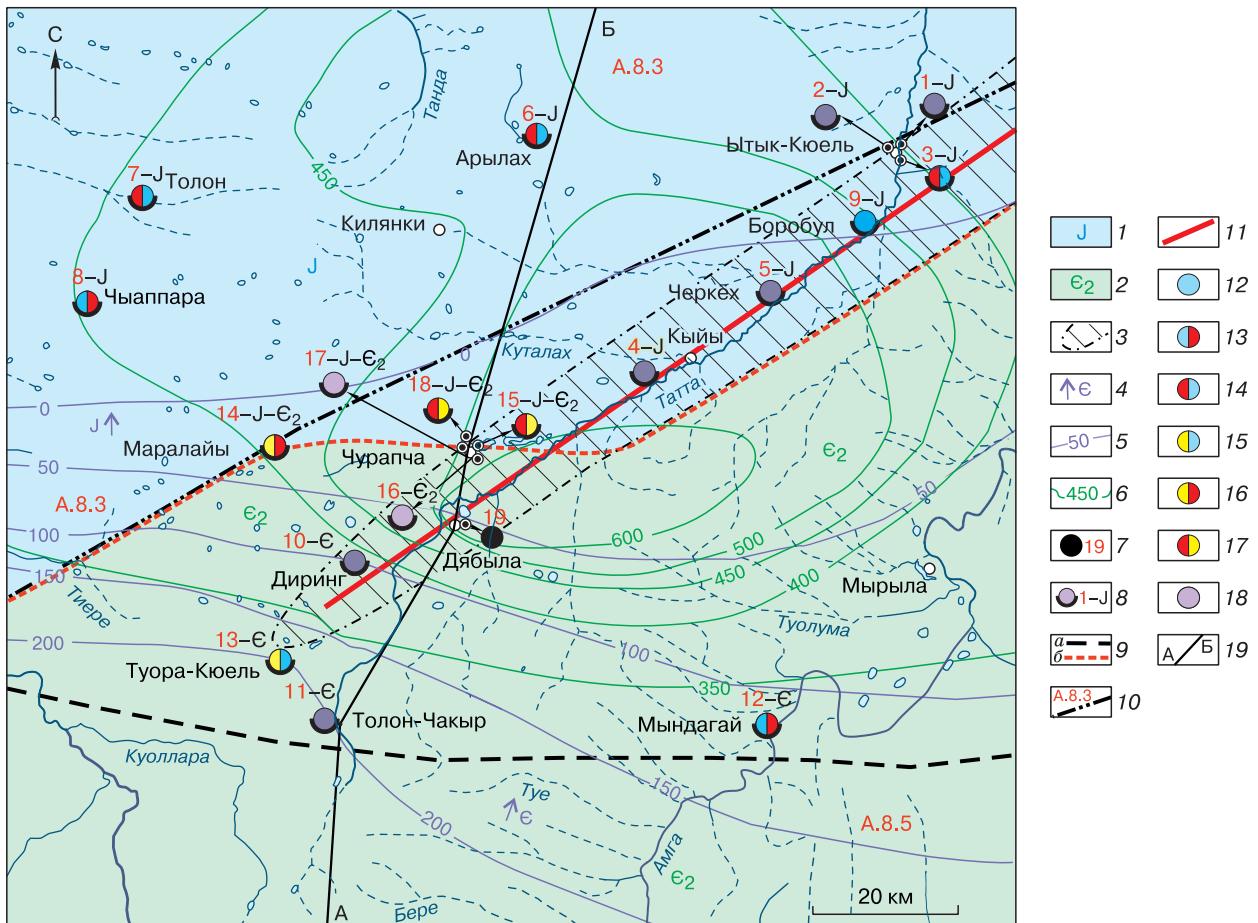


Рис. 2. Карта распространения подмерзлотных вод в районе исследований.

1 – водоносный юрский терригенный комплекс; 2 – водоносный среднекембрийский карбонатный комплекс; 3 – зона с особыми гидрогеологическими условиями, приуроченная к Татта-Томпонскому разлому; 4 – направление движения подземных вод и возраст водовмещающих пород; 5 – гидроизопэзы (в метрах абсолютной высоты); 6 – изолинии мощности криогенного водоупора; 7 – скважина, вскрывшая подмерзлотные воды, ее номер по табл. 1 и индекс водоносного комплекса; закраска соответствует химическому составу подземных вод; 8 – скважина, не вскрывшая подошву многолетнемерзлых пород, и ее номер по табл. 1; 9 – граница первого подмерзлотного водоносного комплекса (*а* – ранее установленная [Карта..., 1984], *б* – уточненная); 10 – индекс мерзлотно-гидрогеологической структуры 2-го порядка (A.8.3 – Лено-Вилюйский КАБ, A.8.5 – Лено-Амгинский АБ) и ее граница [Карта..., 1984]; 11 – Татта-Томпонский разлом [Имаева и др., 2006]; 12–18 – анионный состав подмерзлотных вод: 12 – гидрокарбонатный; 13 – гидрокарбонатно-хлоридный; 14 – хлоридно-гидрокарбонатный; 15 – сульфатно-гидрокарбонатный; 16 – сульфатно-хлоридный; 17 – хлоридно-сульфатный; 18 – смешанный; 19 – линия разреза.

скв. 2 и 3 в с. Ытык-Кюель: в 1990 и 2009 гг. уровень воды залегал на глубине 168.0 и 168.9 м соответственно.

В районе сел Чурапча и Маралайы подмерзлотные воды, приуроченные к отложениям среднего кембрия и юры, изучались совместно. Здесь юрский водоносный комплекс сложен кварцево-полевошпатовыми мелкозернистыми песчаниками с прослойями плотных алевролитов и базальными конгломератами в основании. Мощность его в с. Чурапча составляет 3–11 м, а к западу (с. Маралайы) возрастает до 65 м. Кембрийский водонос-

ный комплекс вскрыт на глубине 490–570 м под юрским. По данным опытных откачек, водопроводимость пород совместно опробованных водоносных комплексов изменяется от 0.8 до 33.0 м²/сут. Пьезометрические уровни подмерзлотных вод залегают на глубинах 167–192 м от поверхности земли. По данным разовых замеров, уровень воды в скв. 18 (с. Чурапча) в 2017–2022 гг. находился на глубине 167–169 м.

Минерализация подмерзлотных вод юрского и среднекембрийского водоносных комплексов изменяется от 0.6 до 2.6 г/дм³ (табл. 2). По водо-

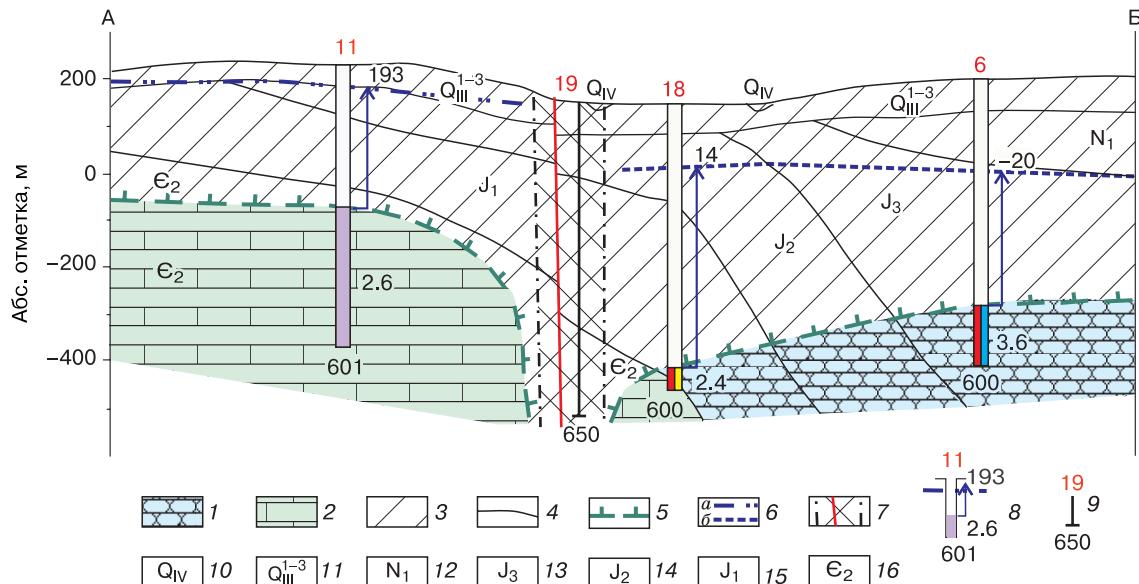


Рис. 3. Мерзлотно-гидрогеологический разрез по линии А–Б на рис. 2.

1 – трещинно-пластовые воды в терригенных юрских породах; 2 – трещинно-пластовые воды в карбонатных среднекембрийских породах; 3 – криогенный водоупор; 4 – граница разновозрастных отложений; 5 – граница многолетнемерзлых пород, бергштрихи направлены в сторону промороженной толщи; 6 – пьезометрический уровень подмерзлотных вод (*а* – среднекембрийских пород, *б* – юрских пород); 7 – тектонический разлом и зона его влияния; 8 – скважина, вскрывшая подмерзлотные воды (цифры вверху – номер скважины, внизу – глубина скважины, м; справа – минерализация, г/дм³; стрелка соответствует напору подземных вод, цифра у стрелки – абсолютная отметка пьезометрического уровня, м); зачкаска соответствует химическому составу воды в опробованном интервале (см. рис. 2); 9 – скважина в мерзлых породах (цифры вверху – номер скважины, внизу – глубина, м); 10 – породы современно-четвертичного возраста; 11 – породы верхнечетвертичного возраста; 12 – породы миоценового возраста; 13 – породы верхнеюрского возраста; 14 – породы среднеюрского возраста; 15 – породы нижнеюрского возраста; 16 – породы среднекембрийского возраста.

родному показателю воды слабощелочные и щелочные ($\text{pH} = 7.6\text{--}9.2$). Анионный состав подмерзлотных вод среднекембрийских пород преимущественно сульфатно-хлоридный или сульфатно-гидрокарбонатный, а юрского водоносного комплекса – в основном хлоридно-гидрокарбонатный. В катионном составе преобладают ионы натрия. В солоноватых водах повышенны содержания натрия, фтора, лития, иногда общая жесткость, при использовании таких вод для питьевых целей требуется водоподготовка.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В пределах рассматриваемой территории мерзлотно-гидрогеологические условия сложные, что обусловлено литолого-фациальным замещением водовмещающих пород, изменчивостью мощности криогенного водоупора и наличием дизъюнктивной тектоники. Проявление дизъюнктивной тектоники прослеживается в долине р. Татта по материалам аэрофотосъемок и геологическим данным [Имаева и др., 2006].

С учетом перечисленных факторов здесь можно выделить два района, различающиеся по

гидрогеологическим особенностям. Один из них расположен в центральной, южной и юго-западной частях изучаемой площади. На южной окраине этого района подмерзлотные воды приурочены к кембрийским карбонатным породам и залегают непосредственно под юрскими многолетнемерзлыми породами на глубине 313–322 м. Подмерзлотные воды напорные, их пьезометрические уровни устанавливаются около поверхности земли на абсолютных отметках 117–219 м. Региональной областью питания кембрийского водоносного комплекса, вероятно, являются его выходы на поверхность в зоне распространения прерывистой мерзлоты на северном склоне Алданской антиклизы [Гидрогеология..., 1970]. Локальное питание поверхностными водами и частичная разгрузка возможны на смежной южной территории через сквозные подзерные талики, приуроченные к тектоническим разломам [Подземные воды..., 2003].

Подземные воды среднекембрийского водоносного комплекса – пресные и слабосоловатые. Их минерализация изменяется от 0.7 до 2.6 г/дм³. По значению водородного показателя они от-

ПОДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Таблица 1. Характеристика гидрогеологических скважин, пробуренных на подмерзлотные воды в районе исследований

Номер скв. на рис. 2	Местоположение скважины	Год бурения	Абс. отм. устья скв., м	Глубина скв., м	Интервал вскрытия комплекса, м	Мощность ММП, м	Глубина залегания пьезометрич. уровня подземных вод, м	Абс. отм., м	Q , л/с	S , м	T , м ² /сут
<i>Водоносный юрский терригенный комплекс</i>											
1	Ытык-Кюель	1971	149.0	450.0	402–450	402	150.7	-1.7	1.70	29.95	0.9
2	Ытык-Кюель	1990	149.0	425.0	396–425	396	168.0	-19.0	н/о	н/о	н/о
3	Ытык-Кюель	2009	149.5	500.0	400–500	400	168.9	-19.4	3.6	32.37	н/о
4	Кыйы	1981	165.3	550.0	500–550	500	162.0	3.3	0.46	63.8	н/о
5	Черкех	1984	179.5	590.0	535–570	535	160.0	19.5	1.25	54.5	5.0
6	Арылах	1991	205.0	600.0	480–600	480	225.0	-20.0	н/о	н/о	н/о
7	Толон-Бахсинский	1991	165.0	495.0	420–495	420	204.5	-39.5	1.9	16	21.0
8	Чылапара	1990	180.0	554.0	410–554	410	206.0	-26.0	1.0	9.5	15.0
9	Боробул	2015	155.7	600.0	473–600	473	178.1	-22.4	1.0	115.74	0.8
<i>Водоносный среднекембрийский карбонатный комплекс</i>											
10	Диринг	1988	208.0	585.0	380–585	380	107.4	106.6	0.5	84.6	0.7
11	Толон-Чакыр	1991	228.0	601.0	320–601	320	35.0	193.0	1.14	195.7	3.0
12	Мындарай	1991	130.9	454.0	322–454	322	14.1	117.0	1.0	14.5	26.0
13	Туора-Кюель	1991	228.0	602.0	313–602	313	9.2	219.0	0.63	205.85	0.4
<i>Водоносный юрско-среднекембрийский терригенно-карбонатный комплекс</i>											
14	Маралайы	1993	207.0	600.0	415–600	415	192.0	15.0	1.47	42.0	4.3
15	Чурапча	1965	170.9	577.0	564–577	563	169.3	1.6	0.4	10.8	0.03
16	Чурапча	1981	170.9	600.4	563–600	563	169.9	1.0	0.68	37.6	0.8
17	Чурапча	2012	181.0	600.2	561–600	561	169.2	12.0	0.6	121.0	0.9
18	Чурапча	2017	181.0	600.0	535–600	535	167.2	14.0	3.1	42.03	33.0
19	Дябыла	2014	183.0	650.0							
Скважина мерзлая											

Причение. Q – дебит опытной откачки; S – понижение уровня подмерзлотных вод в конце опытной откачки; T – коэффициент водопроводимости пород; н/о – не определен.

носятся к слабощелочным и щелочным ($\text{pH} = 7.7\text{--}9.1$). Анионный состав подмерзлотных вод смешанный, первое место принадлежит гидрокарбонат-ионам или сульфат-ионам (26–64 и 21–47 %–мг/экв. соответственно), хлориды занимают третье место (до 16–25 %–мг/экв.) (рис. 4). По катионному составу воды натриевые (80–98 %–мг/экв.).

В центральной части рассматриваемой площади, между широтами с. Телей-Диринг на юге и с. Чурапча на севере, происходит резкое увеличение мощности юрских песчаников и алевролитов. Уклон, с которым происходит погружение карбонатных пород под терригенные юрские породы, возрастает с юга на север от 0.001 до 0.015. В этом же направлении наблюдается увеличение толщи многолетнемерзлых пород. Подземные воды, приуроченные к приподошвенной части юрских и верхней части кембрийских образований, залегают на глубине 415–563 м. В приграничной зоне, где происходит смена литолого-фацального состава водовмещающих пород, наблюдается перераспределение давления в подмерзлотных ком-

плексах. Здесь уровни подземных вод в скважинах устанавливаются на абсолютных отметках 1–15 м.

В формировании химического типа воды повышается роль хлорид-ионов и ионов магния на фоне понижения концентрации гидрокарбонат-ионов, содержание которых не превышает 4–20 %–мг/экв. В результате воды приобретают сульфатно-хлоридный или хлоридно-сульфатный, магниево-натриевый или натриево-магниевый состав. По величине минерализации (0.8–2.5 г/дм³) подмерзлотные воды – пресные и слабосолоноватые, по значению водородного показателя – слабощелочные.

Второй район расположен севернее с. Чурапча, где под криогенным водоупором на глубине 415–480 м залегает терригенный юрский водоносный комплекс. Отличительной чертой подземных вод в этом районе являются их низкие пьезометрические уровни, которые устанавливаются на абсолютных отметках ниже уровня Мирового океана на 20–41 м. Сопоставимые отметки уровня подмерзлотных вод, приуроченных к юрским песчаникам и алевролитам, отмечены при бурении

Таблица 2.

Химический состав подмерзлотных вод

Номер скв.	Местоположение	Дата опро- бования	pH	Форма выра- жения анализа	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ²⁺	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	Li	Сухой остаток
<i>Водоносный горский терригенный комплекс</i>															
1	Ытык-Кюель	30.09.2011	8.6	МГ/дм ³	5.3	4.00	280.20	369.00	0	129.60	345.90	3.7	0.19	949	
2	Ытык-Кюель	20.07.1970	8.0	МГ-ЭКВ.	0.26	0.33	16.46	3.03	0	2.70	9.75	4.5	Н.д.	899	
3	Ытык-Кюель	15.04.2015	9.0	МГ/дм ³	20.64	14.96	304.53	286.70	24.0	143.58	248.7	4.5	Н.д.	824	
4	Кыйы	11.12.1981	7.7	МГ-ЭКВ.	1.03	1.23	13.24	4.70	0.80	2.99	7.02	199.28	Н.д.	1583	
5	Черкех	11.03.1984	8.3	МГ/дм ³	2.11	0.87	329.8	1.07	287	94	53.21	1.11	5.62	0.23	
6	Арьлах	27.02.1991	8.9	МГ-ЭКВ.	0.11	0.07	14.35	0.03	4.71	3.13	0	553.00	322.60	3.8	Н.д.
7	Толон-Бахинский	18.01.1991	9.3	МГ/дм ³	57.31	67.32	4.10.67	344.75	0	11.51	9.10	211.05	121.27	1.4	Н.д.
8	Чынапара	10.02.1993	8.9	МГ-ЭКВ.	2.86	5.54	17.86	5.65	0	221.05	0	4.40	3.42	866	
9	Боробул	08.06.2015	9.2	МГ/дм ³	18.53	11.24	294.58	417.85	0	1964.84	161	1	483.58	5.7	2651
10	Диринг	18.08.1989	7.6	МГ-ЭКВ.	18.04	196.69	752.83	55.42	32.21	5.37	0	0.02	13.68	0.14	1544
11	Толон-Чакыр	06.06.1991	8.8	МГ/дм ³	2.65	2.09	586.10	1.50	693.04	0	6.58	598.60	5.7	0.14	
12	Мындалай	14.06.1989	8.0	МГ-ЭКВ.	0.13	0.17	28.03	0.04	11.36	0	0	0.14	16.88	0.19	1892
13	Тутор-Кюель	17.09.1991	—	МГ/дм ³	8.73	2.02	749.61	1.88	832.08	0	68.23	645.19	7.2	Н.д.	
14	Маралай	15.09.1993	8.0	МГ-ЭКВ.	0.44	0.17	32.61	0.05	13.64	0	1.42	18.20	0	0.07	589
15	Чурапча	02.09.1981	7.7	МГ/дм ³	2.00	1.22	165.00	0.90	335.50	0	8.64	28.36	2.2	0.07	
16	Чурапча	03.08.2012	7.5	МГ-ЭКВ.	4.31	0.74	500.00	2.24	768.26	0	205.49	111.32	7.6	0.89	1208
17	Чурапча	07.04.2018	7.6	МГ/дм ³	0.21	0.06	21.74	0.06	12.59	0.30	4.28	3.14	0	0	
18	Чурапча			МГ-ЭКВ.	69.17	32.84	210.00	6.80	127.03	0	200.39	340.71	1.3	0.81	923
<i>Водоносный юрско-среднекембрийский терригенно-карбонатный комплекс</i>															
19	Чурапча			МГ-ЭКВ.	3.45	3.31	9.04	0.17	2.01	0	4.11	9.42	0	0	1277
20	Чурапча			МГ/дм ³	58.32	87.86	274.50	414.92	0	403.78	244.98	2.0	0	0	
21	Чурапча			МГ-ЭКВ.	2.91	7.23	11.94	6.80	0	8.41	6.91	0	0	0	
22	Чурапча			МГ/дм ³	56.60	31.20	146.00	4.70	143.30	0	290.00	123.00	2.3	0.16	723
23	Чурапча			МГ-ЭКВ.	2.82	2.57	6.35	0.12	2.35	0	6.04	3.47	0	0.02	2139

Примечание. Н.д. — нет данных.

скважин на смежной территории к северу и западу от изучаемого района: в пос. Тюнгюлю –36.8 м, пос. Баяга –24.4 м, а также на левобережье р. Лены вблизи г. Якутска на территории поселков Марха и Жатай от –4.0 до –34.0 м [Подземные воды..., 2003; Павлова и др., 2023]. Причиной снижения напоров подмерзлотных вод может быть высокая гидродинамическая закрытость юрского водоносного комплекса в пределах изучаемой площади. Оценить условия восполнения их запасов сложно. Сквозных таликов в пределах рассматриваемого района не установлено. Вероятно, область питания терригенного юрского водоносного комплекса, распространенного на Лено-Амгинском междуруечье, находится на северо-востоке и приурочена к сквозному талику под р. Алдан, также не исключается перетекание подземных вод из кембрийского водоносного комплекса.

По величине минерализации (1.2–3.6 г/дм³) подмерзлотные воды юрских пород относятся к солоноватым, по значению pH – к щелочным. Особенностью их химического состава являются гидрокарбонатно-хлоридный или хлоридно-гидрокарбонатный анионный состав и бессульфатность (содержание сульфат-иона 6–9 мг/л, редко до 46–53 мг/дм³). Среди катионов доминирует натрий, концентрация которого изменяется в пределах 145–752 мг/дм³, что составляет 87–99 %-мг/экв. от суммы главных катионов. В целом химический состав подмерзлотных вод юрского водоносного комплекса на изучаемой площади близок к составу вод, вскрытых скважинами в юрских породах непосредственно под криогенным водоупором в других районах Центральной Якутии [Павлова и др., 2023].

В пределах территории исследований отчетливо проявляется локальная зона со своеобразными гидрогеологическими условиями. Территориально она прослеживается вдоль долины р. Татта, заложенной по неотектонически активному Татта-Томпонскому разлому [Имаева и др., 2006]. Основанием для выделения этой зоны является комплекс выявленных аномалий, в числе которых максимальные мощности многолетнемерзлых пород (от 500 до 750–780 м), низкие фильтрационные свойства водовмещающих юрских и среднекембрийских пород, абсолютные отметки пьезометрического уровня подземных вод от положительных (20 м) до отрицательных (–22 м), пестрый анионный состав подмерзлотных вод, который может быть объяснен лишь специфическими условиями его формирования. Вероятно, в зоне Татта-Томпонского разлома породы претерпели динамическое уплотнение, чем и может объясняться их пониженная проницаемость по сравнению с окружающей территорией.

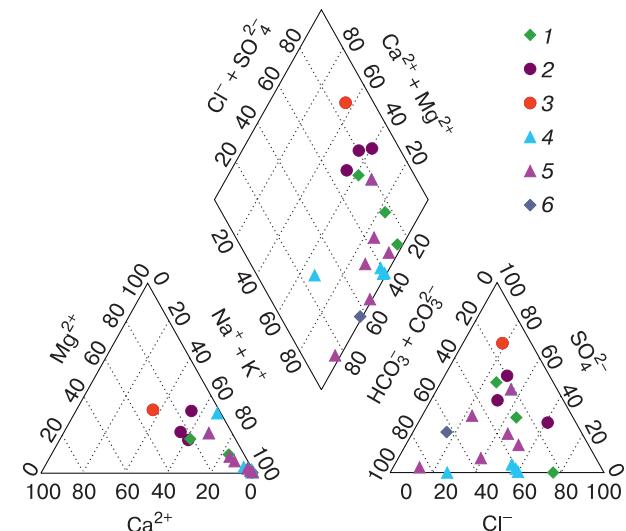


Рис. 4. Пайпер-диаграмма химического состава подмерзлотных вод:

1 – кембрийского водоносного комплекса; 2, 3 – юрско-кембрийского водоносного комплекса: 2 – в южной и юго-западной части территории, 3 – в северной части; 4 – юрского водоносного комплекса; 5, 6 – в зоне Татта-Томпонского разлома: 5 – юрского водоносного комплекса, 6 – кембрийского водоносного комплекса.

Влиянием Татта-Томпонского разлома на мерзлотно-гидрогеологические условия территории можно объяснить результаты геолого-разведочных работ, выполненных в районе с. Чурапча ГУП РС (Я) ЯПСЭ под руководством В.Л. Земляного в 1980–1983 гг. и с участием авторского коллектива в 2012–2017 гг. На территории села подмерзлотные воды юрских-среднекембрийских пород залегают на глубине 561–565 м. Наиболее водопроницаемые интервалы отмечены в мало мощной (3 м) приподнявшейся части юрских пород. Опытными откачками установлена незначительная обводненность кембрийских карбонатных пород до глубины 600 м. Скважины в с. Чурапча позволяют получить дебиты не более 50 м³/сут.

К югу от этого населенного пункта, по направлению к Татта-Томпонскому разлому, происходит существенное увеличение мощности многолетнемерзлых пород. В районе с. Дябыла, в 10 км от с. Чурапча, скважина глубиной 650 м остановлена в многолетнемерзлых породах, а расчетная их мощность составляет 750–780 м [Кириллин и др., 2022]. Максимальная мощность мерзлых пород приурочена к узлу пересечения Татта-Томпонского разлома с резким изменением глубины залегания (с переломом профиля) кровли среднекембрийских пород. Большая мощность ММП, вероятно, обусловлена понижением температуры плавления льда при повышении давления в на-

пряженном массиве мерзлых пород, испытавших сжимающие усилия.

К северо-востоку от с. Чурапча глубина многолетнего промерзания пород уменьшается и на удалении 2 км от него составляет 530 м. Подмерзлотные воды содержатся в кварцево-полевошпатовых мелкозернистых песчаниках и окварцованных трещиноватых известняках с прослойми доломитов. Увеличение мощности юрского водоносного комплекса до 11 м позволило по данным опытно-фильтрационных работ оценить запасы на этом участке в объеме 267 м³/сут.

ВЫВОДЫ

На основе анализа новых гидрогеологических, геокриологических и гидрохимических данных в сочетании с результатами работ предшественников уточнено расположение границы между подмерзлотными юрским и среднекембрийским водоносными комплексами в малоизученной северо-восточной части Лено-Амгинского междуречья. Водоносный кембрийский карбонатный комплекс является первым подмерзлотным в южной и центральной частях района, до широты с. Чурапча, что на 50–80 км севернее ранее установленной границы его распространения. Пьезометрическая поверхность подмерзлотных вод кембрийских пород имеет общий наклон в сторону погружения водоносного комплекса и увеличения мощности перекрывающего криогенного водоупора. Абсолютные отметки пьезометрических уровней подмерзлотных вод с юга на север понижаются от 117–219 до 1–15 м. В северной части района с многолетним криогенным водоупором контактирует водоносный комплекс юрских пород. Уровни подмерзлотных вод в скважинах устанавливаются на отрицательных абсолютных отметках.

Отмеченное в целом на рассматриваемой территории понижение пьезометрической поверхности подмерзлотных вод в северном, северо-западном направлении свидетельствует о латеральном движении подмерзлотных вод.

В известняках и доломитах среднего кембрия содержатся щелочные пресные и слабосолоноватые воды сульфатно-хлоридного, хлоридно-сульфатного магниево-натриевого или натриево-магниевого состава. Подземные воды, приуроченные к терригенным юрским породам, – щелочные слабосолоноватые гидрокарбонатно-хлоридные или хлоридно-гидрокарбонатные натриевые. При использовании подмерзлотных вод для питьевых целей необходимо учитывать необходимость их водоподготовки из-за повышенного содержания натрия, фтора, лития, иногда из-за общей жесткости.

Выявлена зона с особыми геокриологическими и гидрогеологическими условиями, которая трассируется Татта-Томпонским тектоническим

разломом. В поле влияния разлома отмечены максимальные мощности ММП, низкие фильтрационные свойства пород и пестрый химический состав подмерзлотных вод. Предположительно, формирование разлома сопровождалось уплотнением пород вдоль него, что могло привести к пониженной водопроницаемости и увеличению интенсивности промерзания относительно малообводненных пластов в холодные эпохи, а также снижению температуры плавления льда при повышении давления в напряженном массиве мерзлых пород.

Скорректированные представления о мерзлотно-гидрогеологических условиях исследуемой территории могут быть использованы для разработки предложений по планомерному поиску подмерзлотных вод и решению проблем питьевого, хозяйствственно-бытового и технического водоснабжения населенных пунктов района.

Благодарности. Анализ результатов мерзлотно-гидрогеологических исследований выполнен в рамках НИОКТР 122012400106-7 “Подземные воды криолитозоны: закономерности формирования и режима, особенности взаимодействия с поверхностными водами и мерзлыми породами, перспективы использования”.

Литература

- Анисимова Н.П.** Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии). М., Наука, 1971, 195 с.
- Боревский Б.В.** Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б.В. Боревский, Б.Г. Самсонов, Л.С. Язвин. М., Недра, 1979, 326 с.
- Геологическая карта Якутии**, масштаб 1:500 000. Центрально-Якутский блок / Под ред. В.А. Камалетдинова, В.С. Гриненко и др. СПб., С.-Петербург. картогр. ф-ка ВСЕГЕИ, 2000.
- Гидрогеология СССР.** Т. XX. Якутская АССР / Ред. А.И. Ефимов, И.К. Зайцев. М., Недра, 1970, 384 с.
- Государственная геологическая карта**, масштаб 1:1 000 000. Третье поколение, лист Р-53 / Под ред. Л.Н. Ковалева, авт. О.Ю. Лебедева, М.А. Калинин, Г.Г. Казакова. М., ВСЕГЕИ, 2021, 1 л.
- Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И.** Геологическое строение большого Якутска // Региональная геология Якутии. Якутск, Изд-во Якут. ун-та, 1995, с. 3–20.
- Гриненко В.С., Князев В.Г.** Стратиграфия юрских отложений Хапчагайского и Лено-Вилюйского районов: расчленение и межрегиональная корреляция // Отч. геология, 2008, № 5, с. 72–78.
- Иванов М.С.** Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск, Наука, 1984, 126 с.
- Имаева Л.П., Имаев В.С., Козыmin B.M., Слепцов С.В.** Активные сейсмоструктуры Лено-Алданского междуречья (Центральная Якутия) // Исслед. Земли из космоса, 2006, № 3, с. 62–67.
- Казакова Г.Г., Тутасова Е.Н., Худолей А.К. и др.** Государственная геологическая карта Российской Федерации мас-

штаба 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Верхояно-Колымская. Лист Р-53. Ханзыга. Объяснит. зап. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2021, 431 с.

Камалетдинов В.А. Рельеф цоколя и строение четвертичного покрова Лено-Амгинского междуруечья // Геология кайнозоя Якутии. Якутск, Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1982, с. 94–103.

Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000 / Гл. ред. П.И. Мельников, зам. гл. ред. О.Н. Толстыхин, сост. Л.Д. Иванова, Н.С. Ломовцева, Н.М. Никитина, В.М. Пигузова. М., ГУГК, 1984, 4 л.

Кириллин А.Р., Железняк М.Н., Жижин В.И. Новые данные о мощности многолетнемерзлой толщи на Лено-Алданском междуруечье // Криосфера Земли, 2022, т. XXVI, № 3, с. 3–11.

Маринов Р.В., Губин И.А., Моисеев С.А. Обобщение результатов региональных сейсморазведочных работ Средне-Ленской и Алданской нефтегазоносных областей // Интер-экспо ГЕО–Сибирь. “Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология”: Материалы XVIII Междунар. науч. конф. Новосибирск, СГУГиТ, 2022, т. 2, № 1, с. 153–160.

Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В.В. Шепелев, О.Н. Толстыхин, В.М. Пигузова и др. Новосибирск, Наука, 1984, 191 с.

Павлова Н.А., Шепелев В.В., Данзанова М.В. и др. Минеральные лечебные подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования // Природ. ресурсы Арктики и Субарктики, 2023, т. 28, № 1, с. 236–247.

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. Скутин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, фил. “Гео”, 2003, 137 с.

Подземные воды Якутии как источник водоснабжения / Н.П. Анисимова, Ф.Э. Арэ, Е.Е. Жирков, Р.С. Кононова, О.Н. Толстыхин. М., Наука, 1967, 112 с.

Спектор В.Б., Спектор В.В. О происхождении высокой Лено-Амгинской перигляциальной равнины // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 4, с. 3–12.

Справочное руководство гидрогеолога. Т. 1 / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др. Л., Недра, 1971, 512 с.

Федоров А.М. Результаты многолетних наблюдений за режимом эксплуатации подземных вод талика под оз. Хомустах // Гидрогеологические условия мерзлой зоны. Якутск, Кн. изд-во, 1976, с. 110–117.

Федоров А.М., Лаврентьев А.А. Об условиях восполнения подзерного талика в зоне действующего водозабора // Криогидрогеологические исследования. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1985, с. 55–61.

References

Anisimova N.P. Formirovaniye khimicheskogo sostava podzemnykh vod talikov (na primere Centralnoi Yakutii) [Formation of the chemical composition of talik groundwater (using the example of Central Yakutia)]. Moscow, Nauka, 1971, 195 p. (in Russian).

Borevsky B.V., Samsonov B.G., Yazvin L.S. Metodika opredeleniya parametrov vodonosnykh gorizontov po dannym otkacheek

[Methodology for determining the parameters of aquifers based on pumping data]. Moscow, Nedra, 1979, 326 p. (in Russian).

Geologicheskaya karta Yakutii [Geological map of Yakutia], scale 1:500,000. Central Yakut block. V.A. Kamaletdinov, V.S. Grinenko et al. (eds.). St. Petersburg, St. Petersburg cartographic factory VSEGEI, 2000 (in Russian).

Gidrogeologiya SSSR [Hydrogeology of the USSR]. Vol. XX. Yakut ASSR. A.I. Efimov, I.K. Zajcev (eds.). Moscow, Nedra, 1970, 384 p. (in Russian).

Gosudarstvennaya geologicheskaya karta [State Geological map], scale 1:1 000 000. Third generation, sheet R-53. L.N. Kovalev (ed.), authors O.Y. Lebedeva, M.A. Kalinin, G.G. Kazakova. Moscow, VSEGEI, 2021, 1 sheet. – https://rasterdb.vsegei.ru/raster_info.php?id=33577

Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I. Geological structure of Greater Yakutsk. In: Regional Geology of Yakutia. Yakutsk, Yakutsk University Press, 1995, p. 3–20 (in Russian).

Grinenko V.S., Knyazev V.G. Stratigraphy of Jurassic deposits of the Khapchagai and Leno-Vilyui districts: dismemberment and interregional correlation. Otechestvennaya geologiya [Russian Geology], 2008, No. 5, p. 72–78 (in Russian).

Ivanov M.S. Kriogennoe stroenie chetvertichnykh otlozhenij Leno-Aldanskoy vpadiny [Cryogenic structure of Quaternary deposits in the Leno-Aldan depression]. Novosibirsk, Nauka, 1984, 126 p. (in Russian).

Imaeva L.P., Imaev V.S., Kozmin B.M., Sleptsov S.V. Active seismic structures of the Lena-Aldan interfluvie (Central Yakutia). Issledovaniya Zemli iz kosmosa [Earth Research from Space], 2006, No. 3, p. 62–67 (in Russian).

Kazakova G.G., Tutasova E.N., Khudoley A.K. et al. State geological map of the Russian Federation, 1:1,000,000 scale (third generation). Verkhoyansk-Kolyma series. Sheet P-53. Khandyga. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2021, 431 p. (in Russian).

Kamaletdinov V.A. Basement relief and Quaternary cover structure of the Lena-Amga interfluvie. In: Cenozoic Geology of Yakutia. Yakutsk, Yaf SO AN SSSR, 1982, p. 94–103 (in Russian).

Karta merzlotno-gidrogeologicheskogo raionirovaniya Vostochnoi Sibiri [Permafrost-Hydrogeological Zoning Map of Eastern Siberia], 1:2,500,000 scale. P.I. Melnikov, O.N. Tolstikhin (eds.), compiled by: Ivanova L.D., Lomovtseva N.S., Nikitina N.M., Piguzova V.M. Moscow, GUGK, 1984, 4 sheets (in Russian).

Kirillin A.R., Zheleznyak M.N., Zhizhin V.I. New data on permafrost thickness on the Lena–Aldan interfluvie. Earth’s Cryosphere, 2022, vol. XXVI, No. 3, p. 3–9.

Marinov R.V., Gubin I.A., Moiseev S.A. Generalization of the results of regional seismic exploration in the Middle Lena and Aldan oil and gas regions. In: Interexpo GEO-Siberia. “Subsoil use. Mining engineering. Directions and technologies for searching, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology”: Proc. of the XVIII Int. Sci. Conf. Novosibirsk, SGUGiT, 2022, vol. 2, No. 1, p. 153–160 (in Russian).

Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya Vostochnoi Sibiri [Permafrost-hydrogeological conditions of Eastern Siberia]. V.V. Shepelev, O.N. Tolstikhin, V.M. Pigyzova et al. Novosibirsk, Nauka, 1984, 191 p. (in Russian).

Pavlova N.A., Shepelev V.V., Danzanova M.V. et al. Mineral medicinal groundwaters in Central Yakutia and prospects for their use. Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki [Arctic and Subarctic natural resources], 2023, vol. 28, No. 1, p. 236–247 (in Russian).

Podzemnye vody Tsentralnoi Yakutii [Groundwater of Central Yakutia and prospects for their use]. V.T. Balobaev, L.D. Ivanova, N.M. Nikitina, V.V. Shepelev, N.S. Lomovtseva, V.I. Skutin (eds.). Novosibirsk, Izd-vo So RAN, filial "Geo", 2003, 137 p. (in Russian).

Podzemnye vody Yakutii kak istochnik vodosnabzheniya [Groundwater in Yakutia as a source for water supply]. N.P. Anisimova, F.E. Are, E.E. Zhirkov, R.S. Kononova, O.N. Tolstikhin. Moscow, Nauka, 1967, 112 p. (in Russian).

Spektor V.B., Spektor V.V. On the genesis of the high Lena-Amga periglacial plain. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2002, vol. VI, No. 4, p. 3–12 (in Russian).

Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa [Reference guide of a hydrogeologist]. Vol. 1. V.M. Maksimov, V.D. Babushkin, N.N. Verigin et al. Leningrad, Nedra, 1971, 512 p. (in Russian).

Fedorov A.M. The results of long-term observations of the exploitation regime of groundwater in the talik under Lake Khomustakh. In: Hydrogeological conditions of the frozen zone. Yakutsk, Kn. izd-vo, 1976, p. 110–117 (in Russian).

Fedorov A.M., Lavrentiev A.A. On the conditions of replenishment of the sub-lake talik in the zone of the existing water intake. In: Cryohydrogeological studies. Yakutsk, IMZ SO RAN, 1985, p. 55–61 (in Russian).

Поступила в редакцию 5 января 2024 г.,
после доработки – 31 марта 2024 г.,
принята к публикации 16 апреля 2024 г.