

Оценка ресурсов межмерзлотных вод в Центральной Якутии по данным наблюдений за родниковым стоком (на примере источника Ерюю)

А.А. Семерня

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

Анализируются результаты многолетних наблюдений за процессом наледообразования на участке круглогодично действующего источника подземных вод в Центральной Якутии, представляющего большой интерес для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. На участке, охватывающем области питания, транзита и разгрузки межмерзлотных подземных вод, был выполнен комплекс мерзлотно-гидрогеологических исследований, который включал проведение режимных наблюдений за межленным и зимним дебитом источника, бурение поисково-разведочных скважин, измерение температуры пород в скважинах, гидрохимическое опробование поверхностных и подземных вод. На основе выполненных наблюдений за объемом формируемой наледи и родниковом стоком оценена величина естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта. На основе данных гидрохимического опробования подземных вод получены материалы, подтверждающие стабильность химического состава подземных вод исследуемого водоносного горизонта. В результате анализа изменения количества выпадающих атмосферных осадков, объемов наледного льда и дебита источника Ерюю сделан вывод о стабильности величины естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта за многолетний (1965–2014 гг.) период.

Ключевые слова: межмерзлотный водоносный горизонт, естественные ресурсы подземных вод, дебит источника, наледное питание, корреляционный анализ, коэффициент пьезопроводности.

Intrapermafrost Water Resource Assessment in Central Yakutia According to Observations of Spring Run-off (Case Study of Eruu Spring)

A.A. Semernya

Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk

Results of long-term observations of icing formation at year-round groundwater spring in Central Yakutia are analyzed. The spring has a high potential for the utility and drinking water supply. Permafrost and hydrogeological field studies were conducted at the areas of recharge, transit and discharge of the intrapermafrost groundwater. Field studies included monitoring of the winter and low flow spring discharges, exploration drilling, measurements of the ground temperature in boreholes, sampling of surface and underground water for hydrochemical analysis. The value of natural water resources of the intrapermafrost aquifer was assessed on the basis of analysis of conducted measurements of icing volume and spring discharge. Materials that confirm stability of the groundwater chemical composition of the studied intrapermafrost aquifer were obtained on the basis of the hydrochemical sampling results. Conclusion about stability of the natural water resources of the intrapermafrost aquifer for the long-term period (1965–2014) was drawn on the basis of analysis of precipitation amount, icing volume and spring discharge.

Key words: intrapermafrost aquifer, aquifer storage, spring yield, icing growth, correlation analysis, hydraulic diffusivity.

Введение

На территории Центральной Якутии наибольший практический интерес для целей питьевого водоснабжения представляют подземные воды межмерзлотного типа, локально распространенные на бестяхской террасе р. Лены. Глубина залегания их кровли изменяется от 10–11 до 30–50 м, а подошва таликов вскрыта лишь отдельными скважинами на глубинах 60–80 м. Естественные ресурсы межмерзлотных водоносных горизонтов, оцененные по родниковому стоку, превышают 50 тыс. м³/сут [1]. Характерным признаком существования водоносного горизонта подобного типа на данной территории служит наличие круглогодично действующих наледообразующих источников подземных вод у подножья бестяхской террасы р. Лены. Качество изливающихся на поверхность подземных вод практически по всем показателям соответствует требованиям, предъявляемым к питьевым водам, что позволяет их использовать для водоснабжения населения Центральной Якутии.

Целью настоящей работы является оценка естественных ресурсов одного из межмерзлотных водоносных горизонтов бестяхской террасы и влияния динамики современных метеорологических показателей на их изменчивость.

Для достижения поставленной цели сформирован ряд задач, включающих в себя:

- проведение анализа фондовой и опубликованной литературы;
- получение и обработку данных инструментальных наблюдений за расходом круглогодично действующего источника Ерюю и процессом наледообразования в долине одноименного ручья;
- оценку влияния динамики гидрометеорологических показателей на величину естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта.

Характеристика района работ и методика исследований

Четвертая надпойменная терраса, названная П.А. Соловьевым бестяхской [2, 3], протягивается вдоль правобережья современной долины р. Лены. 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 [2]. Поверхность ее представляет собой чередование участков с характерно выраженными в рельефе песчаными грядами высотой от 2–3 до 10–20 м, с врезанными долинами различных

ручьев, небольших рек и озерными котловинами.

Преобладающим типом растительности на изучаемой площади является зрелый сосновый лес со следами свежих, старых и древних пожаров. Вблизи поверхностных водопоявлений и в понижениях рельефа произрастают лиственничные леса и влаголюбивая кустарниковая растительность. Имеются периодически заболачиваемые участки, покрытые кочкарником и разнотравьем, местами в мезопонижениях встречаются небольшие площади с сухим сосновым лесом, погибшим из-за повышения уровня надмерзлотных вод в наиболее влажные годы.

Район работ относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Тем не менее, для бестяхской террасы характерно широкое развитие надмерзлотно-межмерзлотных радиационно-тепловых и гидрогенных таликов [4, 5], площади которых до настоящего времени достоверно не установлены.

Для изучения ресурсов подземных вод одного из таких таликов был выбран ключевой участок «Ерюю». На этом участке, охватывающем области питания, транзита и разгрузки межмерзлотных подземных вод, был выполнен комплекс мерзлотно-гидрогеологических исследований, который включал проведение режимных наблюдений за меженным и зимним дебитом источника, бурение поисково-разведочных скважин, измерение температуры пород в скважинах, гидрохимическое опробование поверхностных и подземных вод, аналитическую обработку полученных данных.

Обсуждение полученных результатов

Источник подземных вод Ерюю находится на левом берегу р. Таммы (правый приток р. Лены) на расстоянии 12 км от ее устья. Выходы подземных вод приурочены к днищу корытообразного распада, который врезан в песчаные отложения бестяхской террасы на глубину от 15 до 35 м [6]. Средний суммарный многолетний дебит источника в осенний период составляет 40–43 л/с (3400–3700 м³/сут). Разгружающиеся подземные воды имеют стабильный в многолетнем цикле гидрокарбонатный натриевый состав (рис. 1), минерализация их варьирует от 0,2 до 0,5 г/л, а температура постоянна в течение года и составляет 0,2 °С.

Режимные наблюдения за дебитом источника были начаты в 1965 г. В 1976 г. режимным отрядом Института мерзлотоведения СО АН СССР в 200 м к северо-западу от основного участка разгрузки была пробурена первая разведочная скважина № 1Е/76 (рис. 2), вскрывшая в песчаных отложениях межмерзлотный

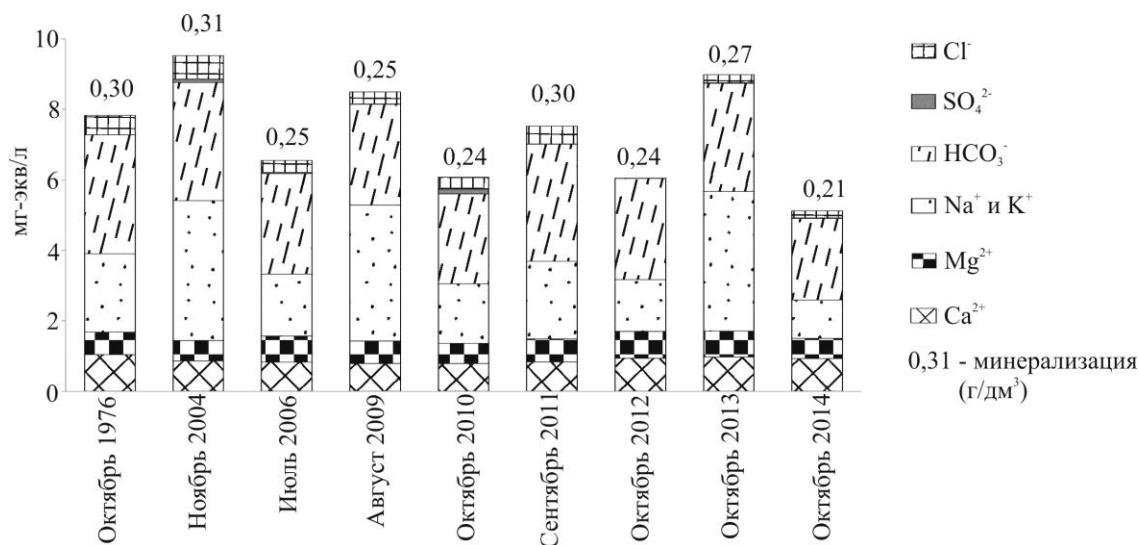


Рис.1. Динамика химического состава вод источника Ерюю (главный выход)

водоносный горизонт в интервале 24,5–55,4 м [6]. Этим отрядом, основываясь на результатах гидрохимического опробования разгружающихся межмерзлотных вод, подземных вод из скважины № 1Е/76 и озерных вод, была рассчитана площадь поверхностного водосбора, межмерзлотного водоносного горизонта, которая составила 26,5 км². Все гидрохимические данные указывали на то, что питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод через талики, развитые под озерами Эльген, Абага-Кюэль и Босогор [6].

В период 2007–2014 гг. сотрудниками лаборатории подземных вод ИМЗ СО РАН для уточнения мерзлотно-гидрогеологических условий области питания и транзита межмерзлотных вод, формирующих источник Ерюю, были пробурены три поисково-разведочных скважины. Скважиной 1/07, заданной на участке между озерами Эльген и Абага-Кюэль, кровля водоносного горизонта была вскрыта на глубине 23,9 м. Скважина глубиной 36 м из талых пород не вышла. На участке скважины № 14Е/14, пробуренной между озером Абага-Кюэль и источником Ерюю, верхняя граница талика была зафиксирована на глубине 13 м. Проходка этой скважины была остановлена на глубине 30 м, подошва водоносного горизонта не была вскрыта. Разведочная скважина № 2/14 глубиной 40 м, расположенная в 0,9 км к юго-востоку от скважины № 14Е, была полностью пройдена в многолетнемерзлых породах, т.е. межмерзлотные воды вскрыты не были.

Данные проведенных буровых работ подтверждают то, что исследуемый межмерзлотный водоносный горизонт в пределах изучаемой площади не имеет сплошного распространения,

а представляет собой локальный талик, залегающий в интервале глубин от 13 – 24,5 до 55,4 м, приуроченный к линии распространения озерных котловин.

Для оценки естественных ресурсов водоносного горизонта и возможных их изменений в условиях современной динамики климата, в период с 2011 по 2014 г. были проведены измерения максимального объема наледи, формируемой источником подземных вод Ерюю. В 2011 г. в пределах наледной поляны этого родника было установлено 26 наблюдательных вех высотой от 2 до 3 м. Замеры мощности наледи проводились в период ее максимальных размеров, т.е. в конце марта–начале апреля. Местоположение вех при их установке на местности выбиралось не случайно. Подобные наблюдения на данном участке уже проводились сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН в 1974 г. Для корректного анализа и сопоставления объемов наледи установка наблюдательных вех в пределах наледной поляны источника Ерюю в 2012–2014 гг. была выполнена аналогично их расположению в 1974 г. Результаты наледных наблюдений, полученные в разные годы, были обработаны по единой методике в компьютерной программе Surfer 10 (рис.3).

Максимальный объем наледи, формируемой источником подземных вод Ерюю, наблюдался в 2014 г. и составлял 191 655 м³, а минимальный отмечен в 2013 г., когда в пределах наледной поляны сконцентрировалось всего 148 234 м³ льда. Максимальная мощность этой наледи ежегодно отмечается вдоль основного русла ручья и составляет в среднем около 3 м. В разные годы морфология наледи различна и зависит от суровости зимы. Так, в 2014 г. наледь была равно-

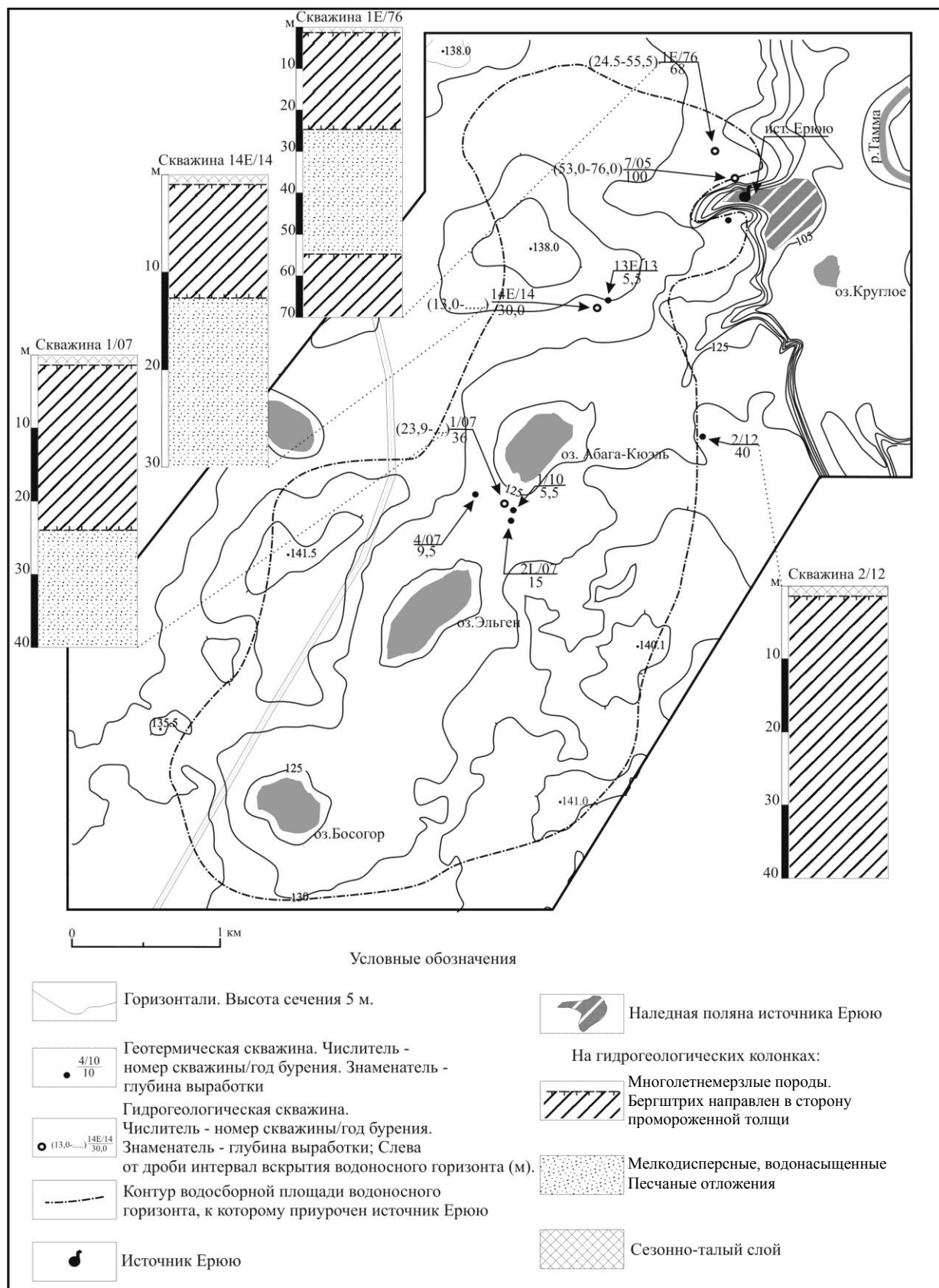


Рис.2. Карта участка исследований

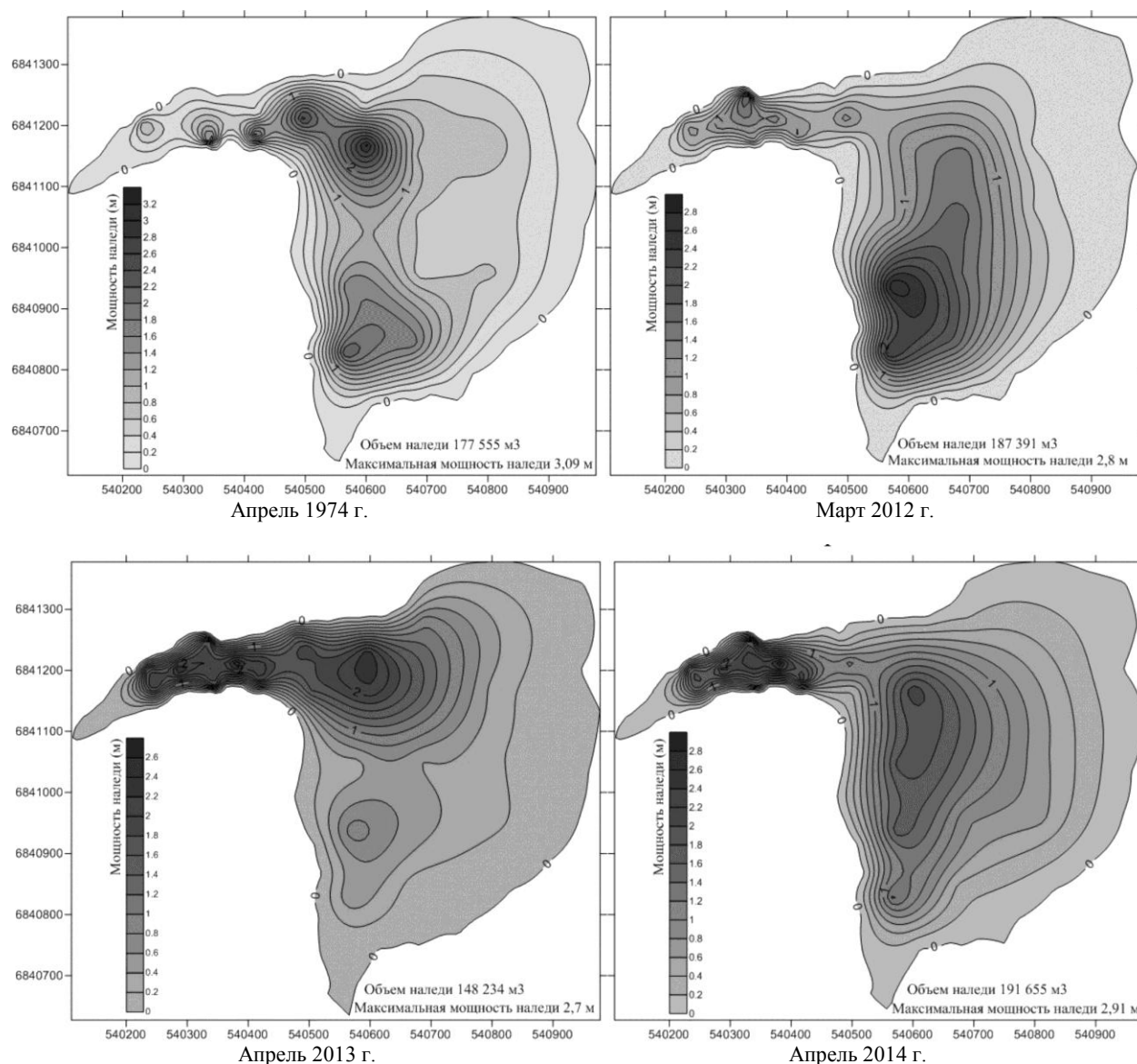


Рис.3. Динамика максимальной мощности наледи, образуемой источником подземных вод Ерюю, в многолетнем разрезе

мерно рассредоточена по всей площади, тогда как в 2013 г. основной ее объем сконцентрировался ближе к выходам подземных вод. Это можно объяснить особенностями климатической обстановки в эти годы. В зиму 2013/2014 г. сумма отрицательных зимних температур приземного воздуха составила 4728 °С, а в зиму 2012/2013 г. была равна 5490 °С. В условиях более холодной зимы основное русло ручья под формирующейся наледью промерзает быстрее, поэтому зимняя разгрузка подземных вод осуществляется вблизи основных головок источника, формируя на этом участке более мощную наледь.

При относительно высоких зимних температурах воздуха процесс формирования наледи

происходит практически равномерно по всей площади наледной поляны. В подобных условиях лишь вдоль основного русла ручья формируются ледяные бугры пучения.

Согласно фондовым данным Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, наледная обстановка на данном участке, наблюдавшаяся в апреле 1974 г., практически не отличалась от современной. Максимальная мощность наледи в этот год составляла 3,10 м, а общий объем наледного льда равнялся 177 555 м³. Основной объем был сфокусирован вблизи основных головок источника, что соответствует существовавшей климатической обстановке – сумма отрицательных зимних температур в зиму 1973/1974 г. составляла –5682 °С.

Таким образом, рассчитанная величина естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта по объему наледного питания в период с 2012 по 2014 г. изменялась от 893 м³/сут до 1154 м³/сут, а в зимний период 1973/1974 г. эта величина составляла 1069 м³/сут. Основываясь на проведенном анализе результатов наледных наблюдений разных лет, можно сделать вывод об отсутствии видимых изменений в величине минимального (зимнего) питания источника Ерюю за последние 40 лет.

Для изучения естественных ресурсов водоносного горизонта в теплое время года замеры дебита источника производились в поздний осенний период. В это время года доля надмерзлотного стока сводится к минимуму и предполагается, что она не влияет на величину расхода межмерзлотного водоносного горизонта.

Анализ режимных наблюдений за дебитом источника Ерюю производился в совокупности с данными о количестве годовых атмосферных осадков, которые влияют на запасы воды в озерах и соответственно ресурсы межмерзлотных подземных вод. Метеорологические параметры принимались по метеостанции г. Покровска [7].

При анализе режимных наблюдений за период с 1965 по 2014 г. отмечено что максимальная величина разгрузки подземных вод была зафиксирована в 1970 г. и составила 78 л/с. Еще один пик максимального расхода источника Ерюю (62 л/с) был зафиксирован в 2007 г. Минимальная величина расхода источника отмечена в 1974 г., тогда его дебит понизился до 15 л/с. По данным статистической обработки средний многолетний расход разгрузки подземных вод за весь период наблюдений составляет 41 л/с при 90 % обеспеченности в 31 л/с.

Для выявления зависимости дебита источника Ерюю от количества атмосферных осадков был построен график изменения этих параметров (рис.4) и проведен их корреляционный анализ. Отмечено, что величина родникового стока зависит от суммы атмосферных осадков, выпавших за два года (730 сут) до замера расхода источника [8].

Зная расстояние от области питания до области разгрузки (1300 м – ближайшее из озер) и время преодоления этого расстояния гидростатической волной (730 сут), мы можем оценить коэффициент пьезопроводности пород межмерзлотного горизонта по формуле:



Рис.4. Хронологический график динамики дебита источника Ерюю и количества атмосферных осадков

$$a = \frac{R^2}{2,25 t} = \frac{(1300)^2}{2,25 \cdot 730} = 1,02 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

В соответствии со справочным руководством гидрогеолога [9] величина рассчитываемого коэффициента (a) для мелкозернистых песков составляет $2,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$, что вполне сопоставимо с полученным результатом и как следствие подтверждает правильность выполненного расчета.

При анализе многолетних наблюдений (1966 – 2012 гг.) за количеством выпадающих атмосферных осадков Центральной Якутии было отмечено, что на метеостанциях, расположенных вблизи участка исследований (г. Якутск, г. Покровск, пос. Майя, пос. Чурапча), статистически значимых трендов по снижению или увеличению количества выпадающих атмосферных осадков не зафиксировано [10].

Выводы

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о стабильности в многолетнем цикле гидрохимического состава исследуемого межмерзлотного водоносного горизонта.

Анализ количества атмосферных осадков в совокупности с данными зимних и летних расходов источника свидетельствует о их прямой взаимосвязи и стабильности естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта на протяжении почти полувека.

Амплитуда колебаний дебита источника за рассмотренный период составляет 63 л/с (максимальный дебит 1970 г. – 78 л/с, минимальный 1974 г. – 15 л/с), средний многолетний расход 41 л/с при 90% обеспеченности в 31 л/с.

Литература

1. 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.
2. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.
3. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука, 1984. 123 с.
4. Анисимова Н.П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии). М.: Наука, 1971. 195 с.
5. Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 176 с.
6. 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 Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. С.106–115.
7. Сайт метеорологических данных: <http://rp5.ru/6754/ru>.
8. Семерня А.А. Роль озерных вод в формировании источников подземных вод бестяхской террасы р. Лены (Центральная Якутия) // Геокриология – прошлое, настоящее, будущее. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2010. С. 93–98.
9. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд., перераб. и доп. Т. 1/ В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др.; Под ред. В.М. Максимова. Л.: Недра, 1979. 512 с.
10. Скачков Ю.Б. Тенденции изменения климата Центральной Якутии на рубеже XX–XXI вв. // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2012. С. 236–238.

Поступила в редакцию 03.12.2015

УДК 550.42:546.17 (571.56)

Влияние атмосферных осадков на геохимию озерных систем г. Якутска

А.Л. Седельникова, В.Н. Макаров

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

Озера, расположенные в селитебных районах, испытывают влияние как техногенных, так и климатических факторов, под воздействием которых формируются их химический состав, водный и солевой балансы. Приводятся данные о влиянии атмосферных осадков на геохимию городских озерных систем. В химическом составе озерных вод преобладают хлориды, гидрокарбонаты и ионы натрия. Величина минерализации воды крупных городских озер колеблется в пределах 0,34–0,91 г/л, достигая в некоторых озерах 2,3 г/л. При относительном постоянстве соотношения макрокомпонентов в химическом составе озерных вод концентрация ряда компонентов в озерах определяется химическим составом и объёмом атмосферных осадков. Рассмотрены особенности формирования гидрогеохимических полей в озерах, связанные с изменением климата. Установлено, что в последние годы наблюдается повышение кислотности и снижение величины минерализации воды озера, связанное с климатическими факторами: изменением качественных и количественных характеристик атмосферных осадков, увеличением объёма поступления катиона H^+ из атмосферы. Прогнозируется тенденция к дальнейшему опреснению озерных вод и улучшению их качества. Снижение содержания макро- и микроэлементов наиболее существенно для сульфатов и уменьшается в ряду: $SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Cl^- > Na^+ > Mg^{2+}$, рН. Неблагоприятная эколого-санитарная обстановка в городских озерах сохраняется для ионов натрия, аммонийных и нитритных соединений азота.

Ключевые слова: озера, вода, донные отложения, осадки, макро- и микрокомпоненты, химический состав, геоэкология.

СЕДЕЛЬНИКОВА Алена Леонидовна – вед. инженер; МАКАРОВ Владимир Николаевич – д.г.-м.н., проф., зав. лаб., e-mail: makarov@mpi.ysn.ru.