

Динамика мерзлотно-гидрогеологических условий на территории стационара «Туймаада» (г. Якутск)

М.В. Данзанова

Ввиду неглубокого залегания от дневной поверхности надмерзлотные воды активно реагируют на климатические изменения и различное техногенное вмешательство. Рассмотрены такие факторы, как температура воздуха и особенности рельефа, влияющие на режим и динамику слоя сезонного протаивания грунтов и надмерзлотных вод в слабонарушенных условиях. Проведённый анализ показал, что даже на незначительных по площади участках существуют различия в мощности слоя сезонного протаивания грунтов и температуре пород слоя годовых теплооборотов, а также увеличение минерализации надмерзлотных вод в условиях сохранения водоносного горизонта в зимний период.

Ключевые слова: сезонноталый слой, надмерзлотные воды, криогенное концентрирование, опреснение, перезимок.

Suprapermafrost waters actively respond to climate change and various anthropogenic interference due to its shallow bedding to ground surface. The article considers factors such as air temperature and terrain features that affect the mode and dynamics of seasonal thawing of soils and suprapermafrost waters in slightly disturbed conditions. The analysis showed there is a difference in the thickness of a layer of seasonal thawing of the soils and the temperature of the grounds of a layer of annual heatturns within even small area, and increase in salinity of suprapermafrost waters under aquifer maintaining during winter period.

Key words: seasonally thaw layer, supra-permafrost waters, cryogenic concentration, freshening, perezimok.

Введение

Надмерзлотные воды играют важную роль в благоустройстве крупнонаселённых пунктов. Ввиду их близкого расположения к поверхности земли, они определяют гидрологические, гидрогеологические, геоморфологические, инженерно-геологические и другие природные условия территорий, влияют на температурное состояние грунтов, а также активность многих криогенных процессов и явлений. Целью настоящих исследований является изучение изменения химического состава надмерзлотных вод на слабонарушенных территориях в зависимости от климатических условий, а также динамики мощности и изменения температурных условий сезонноталого слоя (СТС) в зависимости от особенностей рельефа.

Изучению надмерзлотных вод, формирующихся в слое сезонного промерзания, уделяется чрезвычайно мало внимания, несмотря на то, что они участвуют в увеличении обводнённости грунтов, особенно в начале летнего периода, вызывают развитие опасных криогенных процессов (пучение, термопросадки и т.д.), а при высокой минерализации могут представлять угрозу для нормальной эксплуа-

тации инженерных сооружений. На территории г. Якутска режимные наблюдения за уровнем и химическим составом надмерзлотных вод деятельного слоя проводились сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН в 1993–2001 гг. Этими исследованиями было установлено, что формирование надмерзлотных вод в черте города происходит, как правило, в начале июня [1, 2]. В течение лета наблюдается снижение уровня подземных вод на фоне смещения кровли сезонноталого слоя пород и увеличения мощности обводнённого слоя. Постепенное истощение запасов надмерзлотных вод происходит в течение октября–ноября. Амплитуды колебаний уровня надмерзлотных вод в течение года на разных участках изменяются от 0,1 до 3,3 м [1]. Химический состав надмерзлотных вод в черте г. Якутска весьма разнообразный и зависит от степени и вида техногенной нагрузки [1, 3, 4]. В условиях высокой зарегулированности надмерзлотного стока могут формироваться надмерзлотные криопэги [5–7]. Для прогноза изменения мерзлотно-гидрогеологических и гидрохимических условий под действием того или иного техногенного вмешательства важно знать естественный режим надмерзлотных вод сезонноталого слоя в разных ландшафтных условиях. Изучение надмерзлотных вод невозможно без наблюдений за слоем сезонного протаивания пород и его динамикой в зависимости от изменения климатических характеристик. Такие комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования

ДАНЗАНОВА Марина Викторовна – инженер-исследователь Института мерзлотоведения СО РАН, dmv_1585@mail.ru.

проводятся Институтом мерзловедения им. П.И. Мельникова СО РАН в окрестностях г. Якутска на стационаре «Туймаада» с 1998 г.

Характеристика участка и методика исследований

Стационар расположен на низкой надпойменной террасе р. Лены и примыкает к бровке песчаной серповидной гряды. Территория стационара ровная, абсолютные отметки ее поверхности составляют 98,0–99,0 м. В северо-западной части находится естественная заболоченная ложбина стока с абсолютными отметками поверхности 95,5–96,0 м. В геологическом строении участка принимают участие: почвенно-растительный горизонт до 0,2–0,3 м; от 0,2–0,3 м до 0,6–0,8 м – легкий суглинок (или супесь); от 0,6–0,8 м до 1,6–1,8 м – супесь с прослойками песка или песок с прослоями супеси; далее до 20 м – песок мелко- и среднезернистый. В восточной части стационара произрастает сосново-лиственничный лес. Небольшие участки лесной и кустарниковой растительности присутствуют и в центральной его части (рис.1). Территория стационара ограждена, с юго-западной стороны к ней примыкает грунтовая дорога. В целом территорию стационара можно охарактеризовать как слабонарушенную.

Для изучения мерзлотно-гидрогеологической обстановки и постановки дальнейших исследований на стационаре «Туймаада» в 2008–2009 гг. были пробурены три скважины по профилю на разных элементах рельефа: скважина 1Т на поверхности песчаной гряды у ее

бровки, скважина 2Т в нижней части склона и скважина 3Г в естественной ложбине стока. При бурении скважин 1Т и 2Т глубиной 10 м в июне 2008 г. наличия надмерзлотных вод зафиксировано не было и в дальнейшем эти скважины использовались для изучения геотермического режима пород. В процессе бурения скважин были отобраны пробы для определения засоленности грунтов и ее изменения по разрезу.

При бурении скважины 3Г в ложбине стока в марте 2009 г. в мелкозернистых песках в интервале от 2 до 3 м был вскрыт водоносный слой. Скважина была обсажена и оборудована фильтром в интервале обводненных пород для проведения в дальнейшем режимных гидрогеологических наблюдений. Рядом с ней была пробурена скважина 3Т глубиной 20 м для изучения температурного режима грунтов. Геотермические и гидрогеологические наблюдения проводятся с периодичностью 1 раз в 1–2 месяца.

Обсуждение результатов

На основании анализа геотермических данных установлено, что в разных ландшафтных условиях глубина сезонного протаивания грунтов и скорость их промерзания–оттаивания неодинаковы. На возвышенном участке мощность сезонного талого слоя составляет 2 м. На склоне в летний период грунты протаивают до глубины 2,5–3,0 м. Более интенсивное их охлаждение и прогревание отмечается на ровной поверхности (рис.2). Температура грунтов на глубине 10 м на этих двух участках в период наблюдений составляла $-1,9...-2,1^{\circ}\text{C}$.

В низине в летние периоды 2009–2010 гг. породы, перекрывающие водоносный слой, проталивали полностью. Зимой сохранение надмерзлотных вод повышенной минерализации с температурой $-0,5^{\circ}\text{C}$ препятствовало продвижению вглубь фронта охлаждения, поэтому годовые колебания температуры грунтов ограничивались глубиной 4 м. В зимний период 2010/2011 г. произошло перемерзание водоносного слоя, после чего температура пород в интервале 2,0–3,0 м понизилась до $-1,0...-1,2^{\circ}\text{C}$. В последующем на этом участке

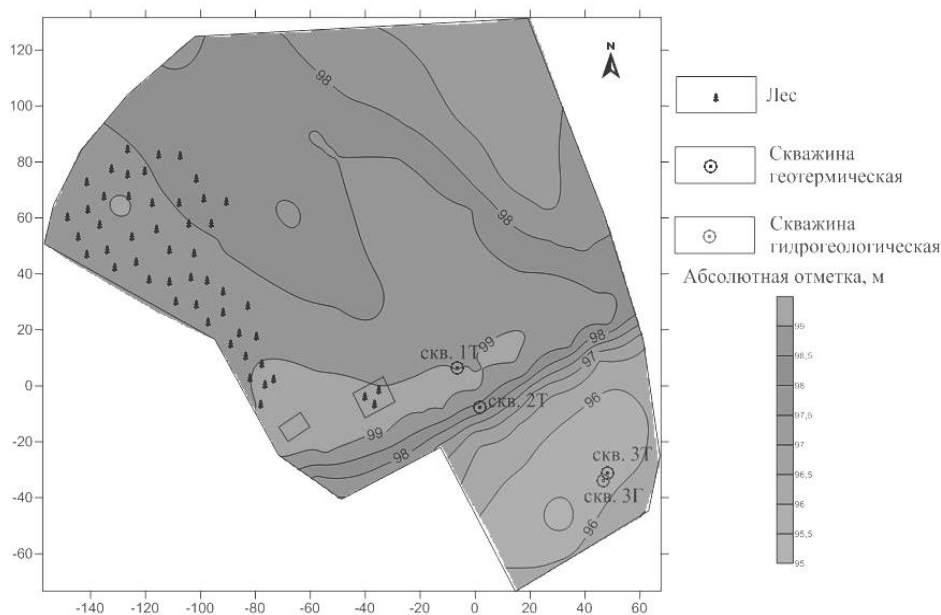


Рис. 1. План стационара «Туймаада»

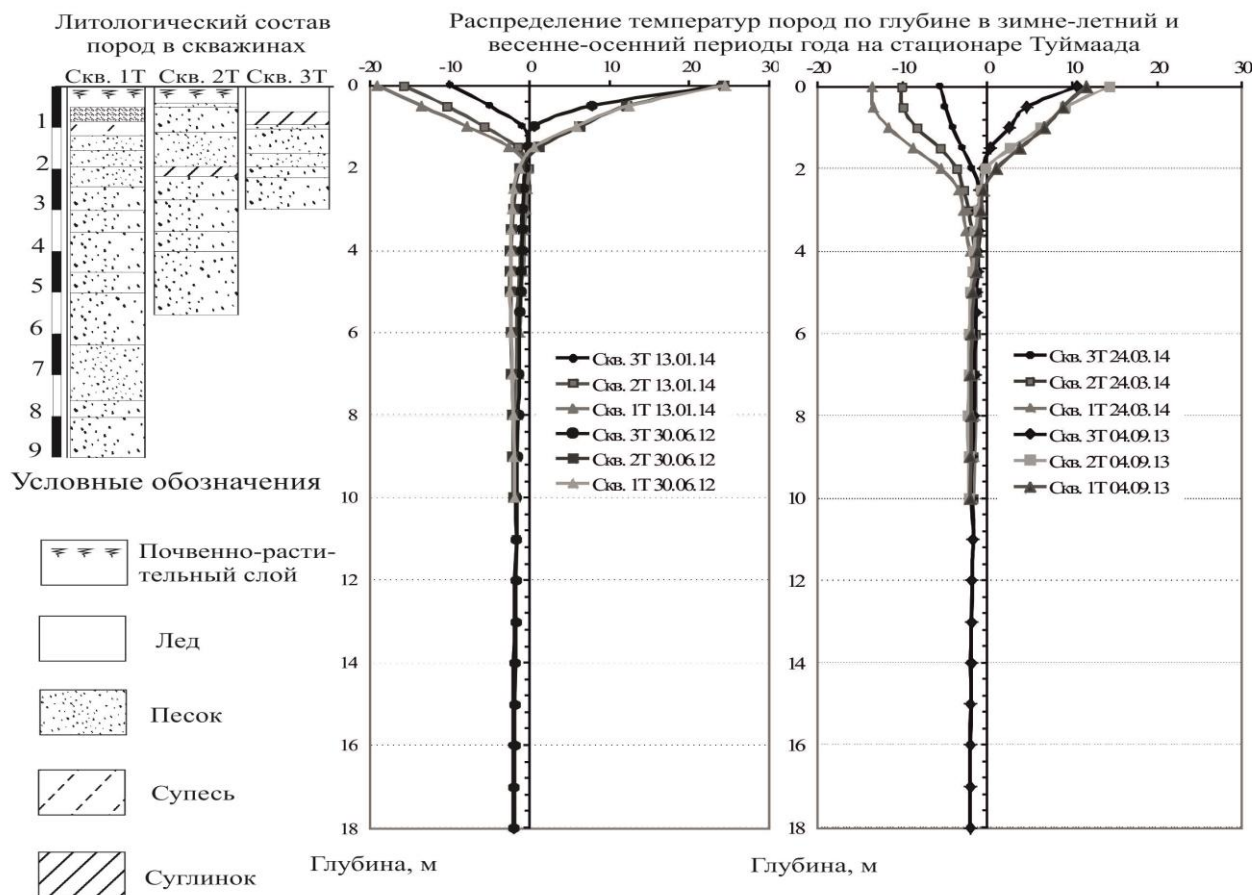


Рис. 2. Изменение температуры грунтов на разных элементах рельефа: скв. 1Т – поверхность гряды, скв. 2Т – на ее склоне, скв. 3Т – в ложбине стока

мощность сезонноталого слоя не превышала 1,7–2,0 м. На глубине 10 м температура грунтов на протяжении всего периода наблюдений составляла $-1,5 \dots -1,7^\circ\text{C}$.

С особенностями теплового режима грунтов, изменением глубины их сезонного промерзания и протаивания связано своеобразие перераспределения растворимых солей по разрезу. На повышенном участке наибольшая засоленность (до 0,05–0,07%) супесчаных отложений прослеживается до глубины 1,0–1,5 м, а на склоне – до 4,0–4,5 м, что соответствует мощности слоя сезонного протаивания грунтов. В подстилающих многолетнемерзлых песках концентрация растворимых солей изменяется от 0,01 до 0,03%.

При изучении перераспределения солей по элементам рельефа было отмечено, что грунты на поверхности песчаной гряды менее всего засолены. Это обусловлено хорошей дренированностью отложений, обеспечивающей вынос растворимых веществ надмерзлотным стоком. Накопление солей происходит в низине, где их концентрация в супесчано-суглинистых отло-

жениях слоя сезонного протаивания составляет 0,05–0,15% (рис.3). Повышенная засоленность грунтов в ложбине стока, а также их высокая обводненность в 2006 и 2007 гг., вызванная большим количеством атмосферных осадков (263 и 215 мм соответственно), по-видимому, и определили формирование на подошве слоя сезонного протаивания надмерзлотных вод хлоридного натриево-магниевого состава с минерализацией 10 г/л.

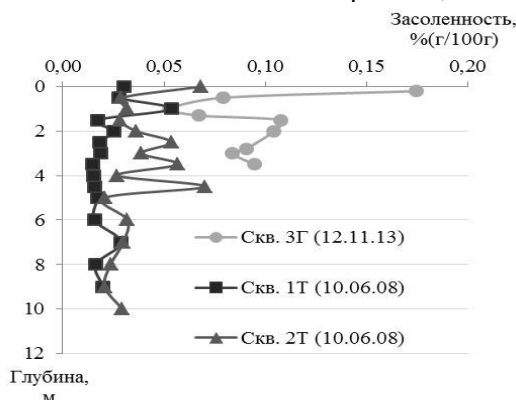


Рис. 3. Изменение засоленности грунтов по разрезу в разных ландшафтных условиях

Как показали результаты дальнейших исследований, водоносный слой в ложбине стока сохранялся круглогодично до 2011 г. Мощность обводненных пород была максимальной в осенний период, когда она составляла 1,6–2,1 м, и сокращалась в процессе зимнего промерзания пород до 1,0 м. Соответственно в течение года наблюдалось и снижение глубины залегания уровня подземных вод от 0,7 до 2,0 м. Истощение запасов надмерзлотных вод СТС происходило за счет миграции влаги к фронту промерзания. Этот процесс восходящего переноса влаги в зимний период является ведущим в формировании режима надмерзлотных вод сезонноталого слоя и грунтовых вод в небольших таликах [1]. При достижении границы сезонного промерзания кровли водоносного слоя, которое на участке скважины 3Г происходило в марте–апреле, наблюдалось незначительное повышение уровня подземных вод. Криогенный гидростатический напор составлял 0,3 м. В это время отмечалась максимальная минерализация надмерзлотных вод – 10–14 г/л. Повышение ее зимой связано с криогенным концентрированием солей в подземных водах, промерзающих в гидравлически замкнутой системе. О криогенном метаморфизме надмерзлотных вод свидетельствует преобладание в их составе хлоридов натрия и магния, достигающее 83% от суммы всех солей. Содержание химических веществ в надмерзлотных грунтовых водах уменьшалось до 6–8 г/л в осенний период после протаивания пород сезонномерзлого слоя и смешивания с инфильтрующимися атмосферными осадками. Концентрация хлоридов натрия и магния при этом уменьшалась до 68%, на содержание сульфатов магния и гидрокарбонатов кальция приходилось по 15%.

В зимний период 2011/2012 г. произошло промерзание водоносного перезимка. Этому способствовали климатические условия двух предыдущих лет: небольшое количество атмосферных осадков (112 мм в 2010 г. и 133 мм в

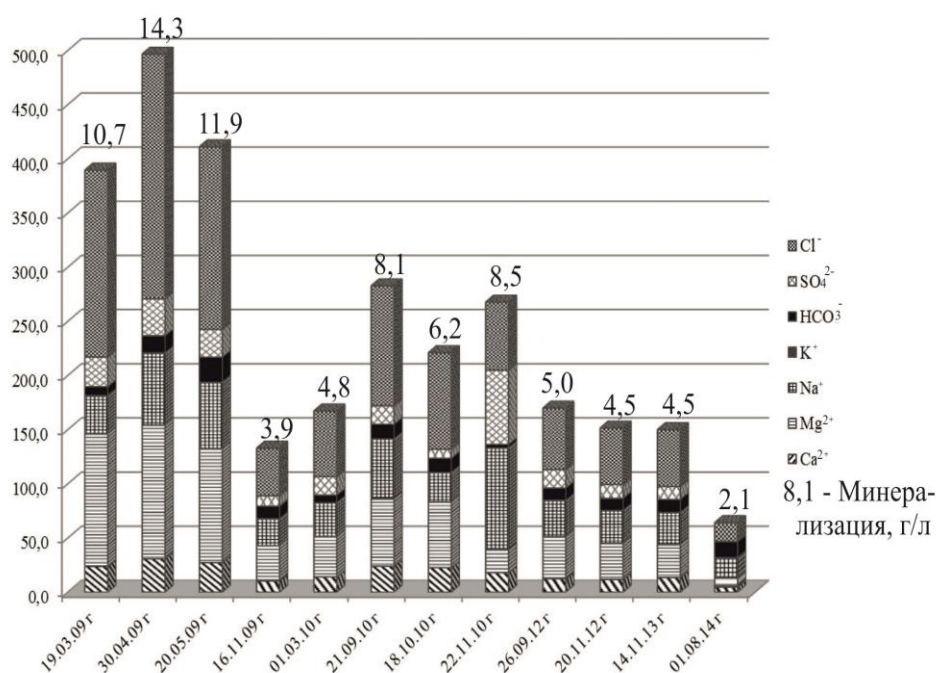


Рис. 4. Изменение химического состава надмерзлотных вод в ложбине стока (по скв. 3Г)

2011 г.) и относительно низкие температуры воздуха зимой. В дальнейшем надмерзлотные воды сезонноталого слоя в скважине 3Г стали появляться лишь в конце августа, после того как глубина протаивания грунтов достигала 2,0 м. В начале осени уровень надмерзлотных вод СТС залегал на глубине 0,4–0,9 м, а мощность водоносного слоя равнялась 1,8–2,6 м. В течение октября–ноября наблюдалось постепенное увеличение глубины залегания уровня надмерзлотных вод и сокращение их мощности. К началу декабря происходило смыкание сезонноталого слоя с кровлей новообразованных мерзлых пород.

По данным химических анализов, с 2011 по 2014 г. прослеживалось постепенное уменьшение минерализации надмерзлотных вод, формирующихся в сезонноталом слое, по всей вероятности, связанное с криогенным их опреснением. Как известно, после полного промерзания водоносного слоя и выпадения в осадок ряда солей, при последующем оттаивании пород не все соли переходят в жидкую фазу [3]. В первую очередь возвращаются в раствор хорошо растворимые хлориды и частично сульфаты. Именно этот процесс наблюдался на участке скважины 3Г. Несмотря на снижение минерализации надмерзлотных вод СТС до 4–2 г/л, в их солевом составе оставались преобладающими хлориды магния и натрия, концентрация которых в сумме составляла 53–68% (рис. 4). Содержание сульфатов магния и кальция изменялось в пределах 16–20%, на гидрокарбонаты кальция приходилось 13–16%.

Заключение

Анализ результатов геотермических наблюдений показал, что даже на небольшом по площади участке имеются особенности в формировании мощности слоя сезонного протаивания и распределении температуры грунтов в слое годовых теплооборотов в зависимости от микрорельефа. В период наблюдений на поверхности песчаной гряды и ее склоне существенных изменений мощности слоя сезонного протаивания и его температуры не отмечалось. В ложбине стока существовал динамичный слой сезонного протаивания–промерзания грунтов. Изменчивость его мощности обусловлена климатическими особенностями: экстремальная величина глубины протаивания пород и формирование водоносного перезимка согласуются с увеличением атмосферных осадков в предыдущий период. Сокращение мощности СТС и промерзание перезимка происходит в сухие годы.

В условиях, способствующих сохранению водоносного слоя зимой, в процессе сезонного промерзания пород отмечается увеличение концентрации солей в надмерзлотных водах в 2,5–3,5 раза по сравнению с осенним периодом за счет хлоридов магния и натрия. После смыкания деятельного слоя с многолетнемерзлыми породами и последующего оттаивания мерзлых пород наблюдалось постепенное уменьшение минерализации надмерзлотных вод, формирующихся в сезонноталом слое. Тем не менее в солевом составе надмерзлотных вод доминировали хорошо растворимые хлориды натрия и магния.

При освоении подобных территорий необходимо учитывать выявленные особенности изменения мощности слоя сезонного протаивания пород и вероятность формирования на его подошве перезимка с надмерзлотными водами повышенной минерализации. Благодаря

высокой солености такие надмерзлотные воды могут сохраняться в жидкой фазе и при отрицательной температуре, а со временем могут перейти в разряд постоянно существующих над- и межмерзлотных криопэггов.

Сравнительный анализ материалов мерзлотно-гидрогеохимических исследований, проведенных на площадках, подверженных в разной степени техногенному воздействию, в дальнейшем позволит выработать рациональные методы борьбы с загрязнением природной среды и контролировать ее изменения.

Литература

1. *Шепелев В.В.* Надмерзлотные воды криолитозоны. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 169 с.
2. *Шепелев В.В., Санникова А.В.* Особенности нарушенного режима надмерзлотных вод деятельного слоя // Мониторинг подземных вод криолитозоны / Отв. ред. В.Т. Балобаев, В.В. Шепелев. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2002. – С. 60–66.
3. *Анисимова Н.П.* Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны. – Новосибирск: Наука, 1981. – 153 с.
4. *Анисимова Н.П.* Режимные исследования надмерзлотных таликов в окрестностях Якутска // Криолитозона и подземные воды Сибири. Ч.2. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1996. – С.3–16.
5. *Анисимова Н.П., Павлова Н.А.* Особенности формирования криопэггов в слое годовых теплооборотов на территории Якутска // Криосфера Земли. – 2002. – Т. 4. – С. 63–69.
6. *Павлова Н.А.* Динамика мерзлотно-гидрогеохимической обстановки на участках распространения криопэггов в г. Якутске // Наука и образование. – 2010. – №3. – С. 15–19.
7. *Павлова Н.А., Данзанова М.В.* К вопросу о решении проблемы обводнения застраиваемой территории города Якутска // Наука и образование. – 2013. – №3. – С. 101–105.

Поступила в редакцию 14.11.2014