

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Н. А. Павлова, к. г.-м. н.,
вед. научн. сотр., зав. лабораторией
Института мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН, Якутск,
pavlova@mpi.usn.ru,
М. В. Данзанова, к. г.-м. н., научн. сотр.
Института мерзлотоведения
им. П. И. Мельникова СО РАН, Якутск,
dmv_1585@mail.ru

Показано, что на территории крупных городов в области криолитозоны зачастую возникают негативные процессы и явления, такие как обводнение, термокарстовые процессы, провалообразование, засоление почв; под влиянием наблюдаемых изменений климата эти процессы активизируются: увеличиваются площади поверхностных водоемов, которые в совокупности с природными и техногенными факторами приводят к засолению почв, повышению минерализации и содержанию химических компонентов в поверхностных водоемах и надмерзлотных водах. На основе многолетних наблюдений представлены данные о динамике химического состава и режиме поверхностных и надмерзлотных вод на территории г. Якутска.

Shown, that negative processes and phenomena often appear on the territory of big cities in the area of cryolithozone, such as inundation, thermokarst processes, ground subsidence, soil salinization and etc.; these processes are intensified under observed climate changes: inundation area increases, that lead to soil salinization, rise of mineralization and content of chemical components in surface water bodies and suprapermafrost water. Data on the dynamics of the chemical composition and the regime of surface and suprapermafrost water in the territory of Yakutsk gained on the basis of long-term observations are presented.

Ключевые слова: криолитозона, поверхностные и надмерзлотные воды, обводнение и подтопление, макрокомпоненты, микрокомпоненты, криопег.

Key words: cryolithozone, surface water, suprapermafrost water, inundation, macrocomponents micro-components, cryopeg.

Освоение северных территорий нередко сопровождается активизацией опасных природных и техноприродных процессов и ухудшением геоэкологической обстановки. Особенно остро эти проблемы проявляются на урбанизированных территориях. Город Якутск — крупнейший город, построенный в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород, не является исключением. В последнее десятилетие на его территории участились случаи аварийных ситуаций, связанные с нарушением устойчивости инженерных сооружений и зданий из-за неравномерного протаивания и подтопления грунтов оснований, а также агрессивного действия поверхностных и надмерзлотных вод на конструкции фундаментов.

Для безопасной эксплуатации инженерных сооружений в г. Якутске и необходимы анализ и схематизация факторов, способствующих обводнению территории на разных этапах ее освоения. В данной работе основное внимание уделено поверхностным и надмерзлотным водам — объектам, которые определяют развитие

большинства опасных экзогенных геологических процессов и явлений и характер изменения мерзлотно-гидрогеохимической обстановки в г. Якутске.

Для оценки изменения обводненности г. Якутска было проведено визуальное дешифрирование аэро- и космоснимков разных лет (1946, 1952, 1973, 2004—2016 гг.). Гидрохимическая характеристика территории дана на основе анализа опубликованных данных о качестве городских озер, а также результатов опробований поверхностных водотоков, луж и надмерзлотных вод, выполненных авторами.

Для оценки временной изменчивости химического состава луж пробы воды отбирались в одном из окраинных микрорайонов г. Якутска в течение двух лет: в мае сразу после схода снежного покрова, в июне—июле и в конце сентября. Для общей характеристики химического состава надмерзлотных вод сезонноталого слоя проведено единовременное (июль — начало августа) опробование 43 копуш, скважин и колодцев, расположенных в разных частях города.

Для изучения гидрохимического режима надмерзлотных вод сезонноталого слоя были организованы специальные исследования на 10 гидрорежимных пунктах, продолжавшиеся на протяжении 5 лет. Сведения о распространении в грунтах оснований зданий и сооружений солончатых и соленых подземных вод, не замерзающих при отрицательной температуре, были заимствованы из материалов изысканий под строительство инженерных объектов, а также получены сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН. Аналитические исследования химического состава воды и водных вытяжек грунтов выполнены в Институте мерзлотоведения СО РАН по стандартным методикам. Микроэлементный состав отдельных проб надмерзлотных вод определен в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (г. Черноголовка).

Природные и техногенные факторы риска обводнения территории г. Якутска. Город Якутск расположен в долине Туймаада — одном из расширений долины р. Лены в Центральной Якутии. Основная часть городской территории находится на низкой надпойменной террасе, для которой характерен слабо выраженный рельеф. Абсолютные отметки поверхности в пределах города изменяются от 85—94 м на высокой пойме до 98—103 м на прирусловых валах низкой надпойменной террасы р. Лены [1]. Мощность аллювиальных отложений, слагающих террасу, составляет 20—25 м. До глубины 3—6 м они представлены суглинками и супесями, ниже залегают разнородные пески, которые подстилаются среднеюрскими песчаниками и алевролитами.

Многолетнемерзлые породы мощностью свыше 300 м имеют площадное распространение. Глубина сезонного протаивания грунтов изменяется от 1 до 4,5 м, а ее многолетняя изменчивость, обусловленная климатическими колебаниями, оценивается в 0,4—0,5 м [2]. Засоленность сезоннопротаивающих супесчано-суглинистых отложений изменяется в значительных пределах и в среднем составляет на возвышенных участках 0,1—0,5 %, в понижениях — 1,3 % [3]. На территориях, освоение которых началось более 150 лет, концентрация солей в верхнем 1,0-метро-

вом слое грунтов достигает 1—5 %, а геохимические аномалии, характеризующиеся повышенным содержанием в грунтах хлоридов, сульфатов, натрия, азотистых соединений, прослеживаются до глубины 8—10 м [4].

Незначительная дренируемость низкой надпойменной террасы р. Лены, широкое распространение слабопроницаемых отложений в верхних частях разреза и близкое залегание многолетнемерзлых пород являются основными естественными причинами слабого дренажа территории и возникновения риска развития процессов заболачивания и подтопления грунтов оснований в г. Якутске.

Активизация обводнения территории города стала отмечаться с конца 60-х гг. XX в. При возрастающих темпах роста численности населения началось массовое строительство многоэтажных каменных домов, прокладка подземных и наземных коммуникаций. В качестве строительных площадок чаще всего использовались расположенные в черте города старичные ложбины и понижения, а также участки сноса старой деревянной застройки. Песчано-гравийная отсыпка строительных площадок, возведение высотных зданий с проветриваемым подпольем, утечки воды из неисправной водо- и теплосети, а также прокладка дорог способствовали коренному изменению гидрологических и мерзлотно-гидрогеохимических условий территории и интенсификации образования в придорожных зонах и внутригородских кварталов небольших техногенных водоемов с повышенной минерализацией воды.

Концентрирование поверхностных вод в мезопонижениях является одной из причин развития термокарстовых процессов. Вытаивание сегрегационного льда, ранее законсервированного в супесчано-суглинистых многолетнемерзлых грунтах, сопровождается просадками поверхности и дальнейшим заболачиванием территории вплоть до образования техногенных озер [5].

При оценке состояния обводненности г. Якутска установлено, что наиболее обводнены его северная и северо-восточная части. Здесь искусственные водоемы и обширные лужи часто занимают около 30—35 % отдельных районов [6]. Характерной особенностью этих районов является наличие зданий старой постройки и

современных высотных жилых домов, возводимых на насыпных грунтах.

В результате дворы старой застройки, расположенные гипсометрически ниже придомовых территорий многоквартирных домов и дорог, оказались областью естественного стока поверхностных и надмерзлотных вод, поступающих со всей территории города. При инженерно-геологических изысканиях на участках сноса деревянной застройки отмечается обводнение и засоление грунтов в местах, nasledующих чаши протаивания под домами и сливные ямы.

Несколько меньшее развитие (15–30 % площади) водоемы застойного типа имеют в центре Якутска, на территории капитальной застройки с высоким уровнем благоустройства. Поскольку большая площадь грунтов в центре города покрыта асфальтом, по внешним признакам определить наличие здесь надмерзлотных вод практически невозможно. Тем не менее о высокой обводненности грунтов оснований свидетельствуют трещины в стенах каменных домов, вплоть до полного разрушения зданий, а также периодически возникающие провалы на дорогах. Основной причиной повышенной влажности грунтов здесь являются утечки из аварийных инженерных коммуникаций.

В юго-западной и юго-восточной частях города заболоченные участки ограничены и занимают в целом не более 10 % территории [6].

Гидрохимическая остановка в г. Якутске. Характер и интенсивность антропогенной нагрузки, а также экологическое состояние урбанизированной территории отражает химический состав поверхностных и надмерзлотных вод. На территории города поверхностные воды представлены водами малых рек (Шестаковка, Мархинка), старичных озер и сезонно-формирующихся мелких водоемов и луж. Химический состав поверхностных вод неодинаков и зависит от степени проточности водотока или водоема, площади и уровня загрязнения водосбора. Малые реки Шестаковка, Мархинка не имеют круглогодичного стока. Питание их происходит за счет атмосферных осадков и надмерзлотных вод. Основная часть стока приходится на весенний период, летом он незначителен, зимой полностью отсутствует. В верховьях малых рек минерализация речных вод

весьма мала и составляет 0,03–0,05 г/дм³, состав их гидрокарбонатный магниевый.

Минерализация воды большинства старичных озер изменяется от 0,3 до 1,3 г/дм³ [7]. В замкнутых водоемах селитебных зон минерализация воды может возрастать до 5 и более г/дм³ [8]. Химический состав пресных озерных вод преимущественно гидрокарбонатный, смешанный по катионам. Солоноватые воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный магниевый состав. Концентрации большинства микроэлементов (Cu, Pb, Mn, Ga, Cr и др.) в воде озер незначительны [7]. Загрязнению подвержены водоемы в местах расположения промышленных объектов, автодорог и магистралей.

Гидрохимическое изучение временных поверхностных вод (луж) было проведено в одном из окраинных микрорайонов г. Якутска, расположенном в его юго-западной части города. Данные химических анализов водных проб свидетельствуют о весьма пестрой минерализации поверхностных вод и ее постепенном увеличении в течение лета (рис. 1).

Минимальные концентрации растворенных компонентов характерны для талых снеговых вод, пробы которых отбирались на более возвышенной территории в пределах лесной незагрязненной площади. Их минерализация в мае составляет 0,05–0,20 г/дм³ при гидрокарбонатном натриевом составе. Точки с максимальными концентрациями растворенных компонентов, как в поверхностных, так и надмерзлотных водах, расположены вблизи пересечения дорог. На таких участках минерализация воды в лужах даже в период снеготаяния достигает 0,5–0,7 г/дм³, а к октябрю увеличивается до 2–4 г/дм³. Состав воды преимущественно хлоридно-сульфатный или сульфатно-хлоридный натриевый. Накопление в поверхностных водах хорошо растворимых хлоридов и сульфатов происходит в условиях нарушения естественного поверхностного стока на фоне высокой испаряемости и широкого развития засоленных почв.

Надмерзлотные подземные воды на территории г. Якутска распространены в четвертичных отложениях в сезоннопротаивающем слое и надмерзлотных таликах. Этим водам принадлежит главная роль в формировании инженерно-геологических

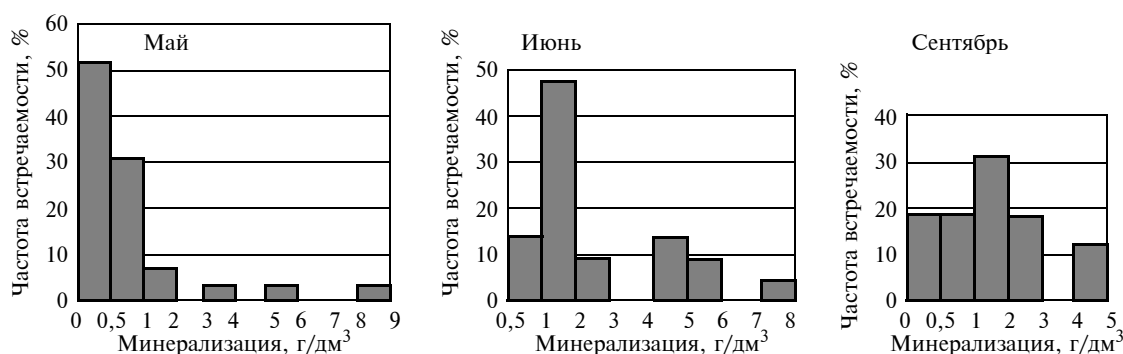


Рис. 1. Диапазон изменения и встречаемость минерализации поверхностных вод в теплый период года на территории микрорайона «Мерзлотка» г. Якутска (май n = 30, июнь n = 21, сентябрь n = 16)

свойств грунтов [5]. На повышенных элементах рельефа, где глубина протаивающего слоя в конце лета достигает 3–4 м, грунты менее обводнены, так как инфильтрирующиеся в породы атмосферные осадки быстро стекают в понижения. В низинах, у оснований склонов выположенных валов высоко льдистые грунты протаивают на меньшую глубину, но сезонноталый слой зачастую здесь обводнен полностью (до 1–2 м). Основную роль в пополнении запасов надмерзлотных вод играют атмосферные осадки.

Низкая температура надмерзлотных вод сезонноталывающего слоя в начале лета оказывает двойное влияние на формирование их химического состава. С одной стороны, она понижает растворимость ряда солей, с другой — благоприятствует обогащению воды углекислым газом, который активизирует химическое разрушение пород [3]. Поэтому уже в мае-июне минерализация надмерзлотных вод сезонноталого слоя бывает повышенной. На участках, где до настоящего времени сохранились условия для надмерзлотного стока, минерализация подземных вод в течение лета, как правило, уменьшается.

В целом на территории г. Якутска в июле-августе минерализация надмерзлотных вод сезонноталого слоя в большинстве случаев (65 %) изменяется от 1 до 4 г/дм³, иногда достигая 8–10 г/дм³; в их анионном составе преобладает гидрокарбонат-ион при повышенном содержании хлора (рис. 2). Среди катионов превалирует натрий; хорошей миграции этих элементов летом способствует увеличение щелочности (pH > 7,5) воды. Подчиненное место среди катионов занимает магний, содержание кальция в надмерзлот-

ных водах редко превышает 20 %. Микроэлементный состав надмерзлотных вод сезонно талого слоя на территории города практически не изучен. При сравнении среднего химического состава поземных вод провинции многолетней мерзлоты северотаежных ландшафтов [9] с результатами анализов отдельных проб надмерзлотных вод сезонноталого слоя в г. Якутске показало превышение в последних меди и свинца в 0,5–10 раз, молибдена — в 4,5–65 раз, кобальта — в 3,8–95,6 раз.

Высокие содержания свинца характерны и для почвогрунтов в городе. Источником этого элемента являются выхлопные газы автотранспорта. Аномальные концентрации молибдена, кобальта и урана предположительно связаны с высокой подвижностью этих элементов в присутствии органических кислот. Окисляемость надмерзлотных вод сезонноталого слоя в г. Якутске достигает 150–300 мг O₂/дм³.

В маломощных слоях или линзах надмерзлотных вод, которые сохраняются до конца зимы, в формировании химического состава важную роль играют процессы криогенного метаморфизма. В январе-феврале при достижении фронта промерзания водоносных слоев гидрокарбонаты кальция и магния частично выпадают в осадок, а содержание хлоридов и сульфатов становится максимальным. При значительной засоленности почв и грунтов водосборной площади минерализация надмерзлотных вод, промерзающих в замкнутой системе, может превышать 10 г/дм³.

Нередко на таких участках в дальнейшем происходит формирование водно-химических таликов, содержащих линзы надмерзлотных криопэггов — подземных соленых вод, незамерзающих при отри-

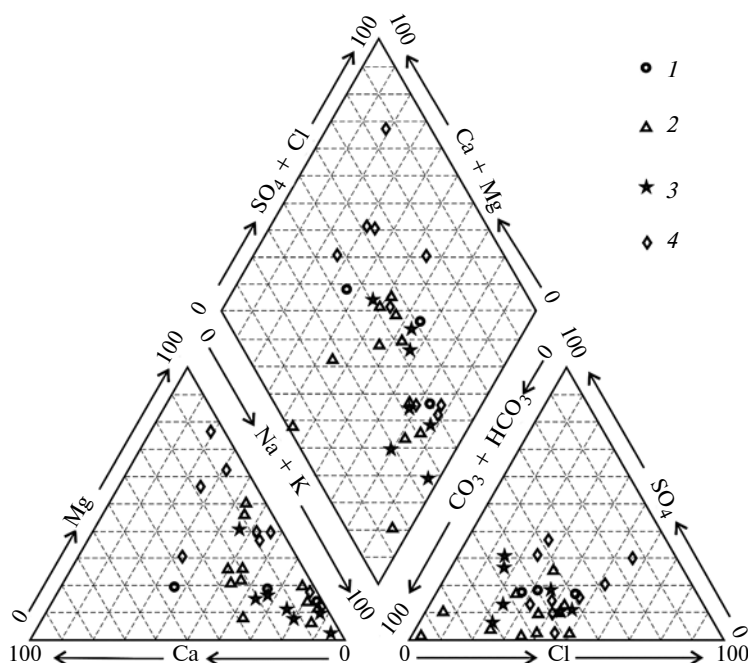


Рис. 2. Химический состав надмерзлотных вод сезонно талого слоя на территории г. Якутска (диаграмма Пайпера)
 Минерализация: 1 — до 1 г/дм³; 2 — 1–2 г/дм³; 3 — 2–3 г/дм³; 4 — больше 3 г/дм³

цательной температуре. Минерализация надмерзлотных криопэггов на территории Якутска изменяется от 2–3 до 75 г/дм³, а температура вмещающих их грунтов — от минус 0,2 до минус 2 °С и ниже [2]. Химический состав у соленых подземных вод сульфатно-хлоридный и хлоридный магниевно-кальциевый, рассолов — хлоридно-натриевый.

Высокоминерализованные воды за счет концентрационной диффузии, подплаывая лед-цемент многолетнемерзлых пород, способны мигрировать по разрезу вплоть до первого литологического водопора, т. е. до глубины 18–20 м [2, 3]. В результате мерзлая аллювиальная толща приобретает сложное слоистое строение. В г. Якутске наиболее проблемные строительные площадки, где криопэги имеют широкое распространение, находятся на территориях деревянной застройки с низким уровнем благоустройства. Высокая вероятность формирования многоярусных криопэггов существует на участках засоленных грунтов, подверженных искусственному отоплению (под трубопроводами, в местах ввода коммуникаций в здания).

Заключение

Таким образом, на территории г. Якутска сочетание природных и техногенных

факторов способствует высокой степени обводнения территории. Локализованный характер воздействия техногенных факторов определяет весьма пестрое распределение минерализации поверхностных и надмерзлотных вод. Наиболее неблагоприятная ситуация с заболачиванием территории, загрязнением поверхностных вод и надмерзлотных вод сезонноталого слоя складывается в местах зарегулированного стока и в кварталах с хаотичной планировочной структурой. На участках концентрирования солоноватых и соленых вод поверхностных и надмерзлотных вод существует высокая вероятность формирования криопэггов.

Для улучшения геоэкологической обстановки в настоящее время в городе проводят работы по восстановлению проточности заиленного городского канала, некогда соединяющего малые реки и озера с выходом в р. Лену. Учитывая высокую зарегулированность поверхностного и надмерзлотного стока, канал не сможет полностью решить проблему обводнения территории г. Якутска. Для выхода из сложившейся ситуации, по всей видимости, необходимо принудительное осушение кварталов с помощью дренажной сети, состоящей как из поверхностных дренажей, так и колодцев и скважин. Основной пробле-

мой при производстве водопонижительных работ будет являться сброс откачиваемых, в особенности высокоминерализованных, вод с территории города из-за перегруженности коммунальной канализационной сети. Поэтому при разработке

проектов дренажных систем в первую очередь требуется предусмотреть сооружение магистральных дренажных коллекторов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-45-05050.

Библиографический список

1. Спектор В. В., Бакулина Н. Т., Спектор В. Б. Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на «Якутском разбое» // Геоморфология. — 2008. — № 1. — С. 87–94.
2. Арэ А. Л., Демченко Р. Я. Некоторые результаты многолетних наблюдений за протаиванием грунта в окрестностях Якутска // Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах. — М.: Наука, 1972. — С. 91–97.
3. Анисимова Н. П., Павлова Н. А. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2014. — 189 с.
4. Макаров В. Н., Торговкин В. Н. Геохимическая характеристика техногенных отложений (культурного слоя) в криолитозоне // Наука и образование. — 2017. — № 3 (87). — С. 38–45.
5. Шепелев В. В. Надмерзлотные воды криолитозоны. — Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. — 169 с.
6. Шац М. М., Сериков С. И. Современное обводнение территории г. Якутска // Наука и образование. — 2009. — № 4. — С. 76–80.
7. Седельникова А. Л., Макаров В. Н. Влияние атмосферных осадков на геохимию озерных систем г. Якутска // Наука и образование. — 2016. — № 1 (81). — С. 47–51.
8. Павлова Н. А., Данзанова М. В., Ефремов В. С. Межгодовые и сезонные изменения химического состава непроточных озер в селитебной зоне Якутска // Вода. Химия и экология. — 2015. — № 3. — С. 11–16.
9. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. — М.: Наука, 1978. — 287 с.

GEOECOLOGICAL SITUATION IN THE URBAN TERRITORY OF CENTRAL YAKUTIA

N. A. Pavlova, Cand. of Geol. and Min. Sc., Leading Researcher, Head of Laboratory at the Institute for Permafrost name P. I. Melnikov of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pavlova@mpi.ysn.ru,

M. V. Danzanova, Cand. of Geol. and Min. Sc., Researcher at the Institute for Permafrost name P. I. Melnikov of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, dmv_1585@mail.ru

References

1. Spector V. V., Bakulina N. T., Spector V. B. The relief and age of the alluvial cover of the valley of the Lena river // Geomorphology. — 2008. — № 1. — P. 87–94.
2. Are A. L., Demchenko R. Ya. Some results of long-term observations of soil thawing in the vicinity of Yakutsk // Experimental studies of heat exchange processes in frozen rocks. — Moscow: Nauka, 1972. — P. 91–97.
3. Anisimova N. P., Pavlova N. A. Hydrogeochemical studies of the cryolithozone in Central Yakutia. — Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”, 2014. — 189 p.
4. Makarov V. N., Torgovkin N. V. Geochemical characteristics of technogenic soils (cultural layer) in the cryolithozone // Science and Education. — 2017. — No 3 (87). — P. 38–45.
5. Shepelyov V. V. Suprapermafrost waters of cryolithozone. — Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”, 2011. — 169 p.
6. Shats M. M., Serikov S. I. Modern flooding of the Yakutsk territory // Science and Education. — 2009. — No 4. — P. 76–80.
7. Sedelnikova A. L., Makarov V. N. Influence of atmospheric precipitation on the geochemistry of Yakutsk lake systems // Science and education. — 2016. — No 1 (81). — P. 47–51.
8. Pavlova N. A. Danzanova M. V., Efremov V. S. Interannual and seasonal changes in the chemical composition of non-current lakes in the residential zone of Yakutsk // Water. Chemistry and Ecology. — 2015. — № 3. — P. 11–16.
9. Shvartsev S. L. Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone. — Moscow: Nauka, 1978. — 287 p.