

К вопросу о решении проблемы обводнения застраиваемой территории города Якутска

Н.А. Павлова, М.В. Данзанова

Рассмотрены естественные условия и техногенные факторы, определяющие высокую обводненность грунтов оснований инженерных сооружений в г. Якутске. Приведен анализ результатов опытно-фильтрационных работ, выполненных на типовом участке локального развития техногенных криопэггов. Показана принципиальная возможность применения откачек и предложены дебиты для эффективного осушения грунтов. Обоснована необходимость включения в программу инженерно-геологических изысканий опытных полевых работ для определения фильтрационных характеристик грунтов.

Ключевые слова: обводнённость, поверхностный сток, надмерзлотные воды, техногенные талики, криопэги, фильтрационные свойства, дренаж.

The environmental conditions and anthropogenic factors responsible for the increased saturation of foundation soils in Yakutsk are considered. The results of pumping tests conducted at a representative site with localized man-induced cryopeg development are presented. The feasibility of pumping as an effective soil dewatering method is demonstrated and discharge values are proposed. It is substantiated that geotechnical site investigation programs should include field tests to determine soils filtration characteristics.

Key words: soil saturation, surface drain, suprapermafrost water, anthropogenic talik, cryopeg, filtration characteristics, drainage.

Введение

Как показывает опыт строительства в г. Якутске, большая часть строительных площадок, в особенности на участках снесенного ветхого и аварийного жилья, а также на заболоченных, свободных от застройки территориях, характеризуется сложными инженерно-геологическими и мерзлотно-гидрогеологическими условиями. Особенностью этих площадок является повышенное обводнение грунтов оснований в местах, наследующих чаши протавания под домами и сливные ямы. Нередко на подобных участках засоленные пластично-мерзлые песчано-глинистые грунты с отрицательной температурой, близкой к 0°C, содержат надмерзлотные и межмерзлотные воды повышенной минерализации (криопэги). В таких мерзлотно-гидрогеологических условиях эксплуатационная надежность оснований и фундаментов без проведения специальных геотехнических мероприятий весьма низка.

В качестве мер борьбы с криопэгами проектировщиками предлагались разные методы. Например, на одной из строительных площадок

на территории г. Якутска была применена замена грунтов, содержащих линзы криопэггов, незасоленным грунтом. Данный метод оказался неэффективным, поскольку одновременно не были выполнены мероприятия по регулированию надмерзлотного стока. На другом участке проводился эксперимент по замещению криопэггов пресной водой и последующим естественным замораживанием опресненной зоны [1]. Полностью проморозить водонасыщенные грунты также не удалось. В настоящее время основным методом борьбы с криопэгами и закрепления грунтов оснований сооружений в г. Якутске является установка под зданиями «холодных» свай и охлаждающих термосифонов. Однако задачу промораживания водонасыщенных грунтов естественным или искусственным холодом значительно осложняет миграция криопэггов, а при минерализации порового раствора выше 20 г/л эти методы также не эффективны.

Одним из способов мелиорации слабых грунтов и улучшения их строительных свойств является водоотведение подземных вод несквозных надмерзлотных таликов с помощью устройства различных видов дренажа. Отсутствие методик выполнения водопонижительных работ в сложных мерзлотно-гидрогеологических условиях, малая изученность фильтрационных

ПАВЛОВА Надежда Анатольевна – к.г.-м.н., зав. лаб. ИМЗ СО РАН, pavlova@mpi.ysn.ru; ДАНЗАНОВА Марина Викторовна – инженер-исследователь ИМЗ СО РАН, dmv_1585@mail.ru.

свойств пород зоны аэрации и водовмещающих рыхлых аллювиальных отложений сдерживают внедрение на территории г. Якутска дренажных систем, широко применяемых вне криолитозоны.

Основной целью данной работы является выявление основных факторов, определяющих высокую обводненность грунтов сезонноталого слоя, и изучение фильтрационных свойств пород на типовом участке с неглубоким залеганием криопэггов. Все это необходимо для обоснования и оценки целесообразности обустройства на локальных участках вертикального дренажа для регулирования надмерзлотного стока на территории г. Якутска.

Факторы, способствующие увеличению обводненности грунтов на территории города

Город Якутск расположен в левобережной расширенной части долины р. Лены, представляющей собой террасированную аккумулятивную равнину шириной 6–8 км. Надпойменные террасы слабо эродированы: абсолютные отметки рельефа изменяются от 85–94 м (высокая пойма) до 98–102 м (вторая надпойменная терраса). Многолетнемерзлые породы мощностью свыше 300 м имеют площадное распространение. Глубина сезонного протаивания пород на территории города изменяется от 0,5 до 4,5 м и зависит в основном от литологического состава отложений, их влажности, засоленности и затененности поверхности.

Четвертичные отложения террас, перекрывающие сплошным чехлом терригенные юрские породы, представлены до глубины 0,5–4,0 м льдистыми супесями, суглинками, нередко заиленными и заторфованными. Ниже залегают мелкозернистые пески с отдельными тонкими прослоями торфа и льда. Пойменные осадки мощностью 4–8 м подстилаются до глубины 17–25 м русловыми средне- и крупнозернистыми песками с включениями гравия и гальки в основании разреза.

На территории города широко развит культурный слой. Для него типичен пылевато-суглинистый, реже пылевато-супесчаный состав, большое содержание органических остатков бытового мусора и строительных отходов в виде древесной щепы, кусков досок и бревен. С 1950–1960 гг. началось формирование нового культурного слоя преимущественно песчаного состава с включениями строительного мусора из щебня, шлака и обломков кирпича [2]. Таким материалом обычно при планировке местности засыпают озерные котловины, заболоченные низины, выгребные ямы. Стихийное накопление антропогенных образований привело к стира-

нию геоморфологических границ, уничтожению естественных дренажей. По ориентировочным расчетам, в XX веке на территорию г. Якутска было завезено около 80 млн. м³ различного грунта, что при равномерном распределении его по всей селитебной территории приподняло поверхность почти на 1,5 м [3]. Фактически же мощность антропогенных отложений не выдержана и изменяется от 1,5 до 4,0 м, иногда достигая 10 м. На отдельных участках культурный слой состоит из многослойного асфальта и погребенных разрушенных лотков, являющихся своеобразными техногенным барражом, препятствующими поверхностному и надмерзлотному стоку.

Надмерзлотные воды сезонноталого слоя (СТС), которым принадлежит основная роль в подтоплении грунтов оснований зданий и сооружений, распространены повсеместно, но их гидродинамический режим на разных участках имеет свои особенности и зависит от комплекса факторов. Появление вод СТС отмечается, как правило, в начале июня [4, 5]. В течение лета подошва обводненного слоя опускается в соответствии с деградационным смещением кровли криогенного водоупора. Наиболее интенсивно протаивают песчаные грунты на повышенных элементах рельефа. Несмотря на значительную мощность СТС (в конце лета до 3–4 м), на таких участках породы менее обводнены, так как инфильтрующиеся в протаивающий слой атмосферные осадки быстро стекают в понижения. В низинах, у оснований склонов выложенных валов высокольдистые грунты протаивают на меньшую глубину, но СТС зачастую здесь обводнен полностью (до 1–2 м). Основную роль в пополнении запасов влаги надмерзлотных вод играют талые снеговые воды, стекающие с повышенных элементов рельефа по мерзлому субстрату, а также атмосферные осадки, выпадающие в начале теплого периода. Немногочисленные дожди, выпадающие в июле–августе, в питании надмерзлотных вод практически не участвуют из-за высокого их испарения в жаркие летние месяцы. Немаловажную роль в увеличении обводненности и заболачивания территории города играют аварийные утечки из водонесущих инженерных коммуникаций. Техногенные наледы, формирующиеся под зданиями в зимний период при утечках воды, на территории г. Якутска аккумулируют дополнительно до 200% воды от суммы зимних осадков. Минерализация техногенных наледей может достигать 1,5 г/л [6].

Естественными дренами поверхностных и надмерзлотных вод за пределами городской территории являются многочисленные старичные озера, расположенные в межрядовых и

отшнурованных протоковых понижениях. На территории г. Якутска дренажная роль озер, в основном, утрачена из-за высокой зарегулируемости поверхностного и надмерзлотного стока техногенными барражами, в том числе мерзлотными, формирующимися под дорогами и проветриваемыми подпольями [3]. Следствием изолированности водоемов является повышение минерализации воды в них до 1,5–5,6, реже до 10 г/л. Малоомощные надмерзлотные талики (10–30 м), развитые под такими озерами, также содержат солоноватую воду.

Таким образом, слабая расчлененность рельефа и близкое залегание многолетнемерзлых пород способствуют концентрированию в местных мезопонижениях талых и дождевых вод, обеспечивая высокую водонасыщенность пород сезонноталого слоя. При значительном скоплении поверхностных и надмерзлотных вод в условиях слабого дренажа могут формироваться малоомощные талики. При отсыпке территории под новое строительство на площадях сноса застроек частного сектора, различного рода выемок, заброшенных производств сохраняются связанные с ними локальные участки с сильно засоленными водоносными или льдистыми грунтами. Наличие в приповерхностной части разреза суглинистых отложений с низкими фильтрационными свойствами, широкое распространение мощного неоднородного по составу и свойствам культурного слоя и мерзлотное барражирование поверхностного и надмерзлотного стока способствуют подтоплению грунтов оснований зданий и инженерных сооружений. Сложившаяся неблагоприятная мерзлотно-гидрогеологическая обстановка требует безотлагательных мер по выработке мероприятий по осушению грунтов и обустройству дренажа на территории города.

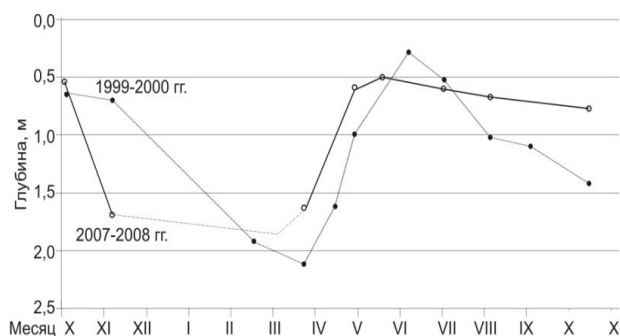
Результаты опытно-экспериментальных работ

Внедрение дренажно-осушительных и водоотводных систем должно предваряться гидрогеологическими расчетами, выполненными на основе кондиционных данных о водно-физических свойствах водовмещающих грунтов. Изучение фильтрационных свойств пород зоны аэрации и водовмещающих рыхлых аллювиальных отложений в натурных условиях и экспериментальное опробование дренажных систем в г. Якутске было выполнено сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН совместно с ООО НВЦ «Геотехнология» на четырех полигонах в 2010–2012 гг. При интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ для расчета

гидрогеологических параметров водоносных пород использовались графоаналитические методы и формулы теории притока воды к скважинам [7, 8]. Кроме этого, изучение фильтрационных свойств грунтов проводилось в лабораторных условиях А.П. Голдыревой и Н.В. Ремизовой.

В данной работе рассматриваются результаты исследований, выполненных на типовом участке городской территории с криопэгами. Опытный полигон представляет собой выположенный склон древнего эрозионного понижения, окруженный деревянными домами. О наличии здесь криопэгов стало известно еще в 1981 г., когда при бурении линзы надмерзлотных вод с минерализацией 8–14 г/л были вскрыты в пылеватых и мелкозернистых песках в интервале 2,0–4,5 м под супесчано-суглинистыми отложениями [9, 10]. Формирование криопэгов явилось результатом инфильтрации в сезонноталый слой загрязненных бытовых стоков и концентрирования солей при промерзании пород в условиях затрудненного водообмена. В последующие годы на этом полигоне проводились стационарные наблюдения за динамикой надмерзлотных криопэгов и температурным режимом вмещающих их грунтов [10, 11]. По данным многолетних исследований было установлено, что криогенный напор, формирующийся в процессе промерзания водосодержащих пород сверху, достигает максимальной величины в мае–начале июля и в зависимости от суровости зимы изменяется от 1 до 2 м (рисунок).

Минерализация надмерзлотных вод испытывает сезонные колебания. Минимальные ее значения отмечаются в августе–октябре. В марте–июне в результате криогенного концентрирования солей минерализация криопэгов повышается до 14–18 г/л. В отдельные холодные годы водонасыщенный слой к концу зимы разделяется на изолированные друг от друга линзы, а минерализация воды в них достигает 20–25 г/л. Температура пород, вмещающих высокоминерализованную воду, колеблется в пределах 0–10 °С.



Изменение уровня надмерзлотных криопэгов в годовом цикле (интервал залегания 2,0–4,5 м)

рализованные воды, изменяется на разных участках от минус 0,5 до минус 1,2°C, тогда как температура начала замерзания поровых растворов, обусловленная влиянием комплекса солей и рассчитанная как сумма температур, вызванных влиянием содержания каждой соли, – от минус 0,7 до минус 2,1°C.

В целях разработки технических рекомендаций по проведению опытно-фильтрационных работ для гидрогеологических расчетов дренажно-осушительных и водоотводных систем на подобных участках было принято решение об устройстве на полигоне дренажного колодца и куста наблюдательных скважин.

Дренажный колодец размером 1,2x1,2 м, установленный в 2010 г., заглублен до кровли многолетнемерзлых пород (4,5 м), имеет перфорированные стенки и дно. Для наблюдений за развитием воронки депрессии при откачке и определения водно-физических свойств грунтов в лабораторных условиях было пробурено 5 скважин с отбором керна. Скважины оборудованы фильтром на всю мощность водоносного слоя и ориентированы по одному лучу. Пробные откачки из колодца с дебитами от 19 до 72 м³/сут были выполнены в конце августа после протаивания пород, перекрывающих водоносный горизонт, и в мае–начале июня, когда отмечаются максимальные величины криогенного напора в талике. Продолжительность откачек в зависимости от дебита изменялась от 1,2 часа до 10 часов. Наблюдения за положением динамического уровня воды в скважинах во время опытно-фильтрационных работ проводились по стандартной методике: первый час – по учащенному графику, затем промежуток времени между замерами был увеличен до получаса.

Комплекс исследований позволил определить радиус влияния водопонизительного колодца, изучить фильтрационные свойства водовмещающих грунтов, необходимые для гидрогеологических расчетов дренажа (таблица). Было установлено, что для данных мерзлотно-гидрогеологических условий откачки с дебитами более 40 м³/сут могут характеризоваться как экспресс-опробование, а определяемые по ним гидрогеологические параметры следует считать лишь оценочными. Для равномерного осушения водоносного слоя наиболее оптимально проводить откачки с дебитом 25–33 м³/сут. Наибольшие водопритоки в дренажную выработку отмечаются в конце весны–начале лета, что связано с высокой криогенной водоотдачей пород талика при максимальном его сезонном промерзании.

По данным лабораторных испытаний грунтов, значение коэффициента фильтрации для

Фильтрационные параметры грунтов по данным откачек

Период опробования	Коэффициент фильтрации, м/сут	Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут	Коэффициент гравиационно-упругой водоотдачи	Водоприток в дренажную выработку, м ³ /сут
Август–сентябрь	2,0–4,5	(1,7–2,2)·10 ³	(1–5)·10 ^{–3}	25
Май–июнь	4,5–5,7	50		33

мелких песков получилось заниженным по сравнению с полученными при опытно-фильтрационных работах и составило 0,1–2,3 м/сут. Ранее в лаборатории подземных вод криолитозоны Института мерзлотоведения СО РАН П.К. Коносовым были проведены натурные эксперименты по определению зависимости коэффициента фильтрации пород от концентрации раствора. В опытах использовались образцы грунта, отобранные из интервала залегания криопэггов, в качестве фильтрующей жидкости – дистиллированная вода, природный и искусственно приготовленный высокоминерализованный растворы. Эти эксперименты показали, что величина коэффициента фильтрации пород при применении природного раствора в 2 раза, а модельного почти в 4 раза выше, чем при использовании дистиллированной воды.

Коэффициенты фильтрации пород также были вычислены по известным эмпирическим зависимостям, основанным на использовании данных гранулометрического состава грунтов без учета физико-химических процессов, происходящих в грунте при фильтрации воды [12]. Эти зависимости установлены для однородных чистых, хорошо промытых песков. Вероятно, поэтому расчетные значения коэффициентов фильтрации грунтов оказались завышенными по сравнению с определенными опытным путем. Так, для песков средней крупности значения этого параметра, найденные по формуле Хазена, близки к полученным в лабораторных условиях, но выше значений, рассчитанных по данным опытных откачек, в 2–3 раза. Для мелкозернистых песков расхождение расчетных величин коэффициента фильтрации по сравнению с лабораторными опытами составляет 1–2 порядка. При использовании формулы Крюгера, учитывающей пористость грунта, расчетные значения фильтрационных характеристик более близки к определенным при откачках.

Основные выводы и рекомендации

Таким образом, результаты пробных откачек из дренажного колодца показали принципиаль-

ную возможность осушения неглубоких таликов с криопэгами. Для сбора воды перфорированный дренажный колодец должен быть пройден на всю мощность талика, а вокруг выработки устроен обратный фильтр из слоя щебня. Откачки из колодцев можно проводить как в летний период после протаивания сезонномерзлых пород, перекрывающих водоносный талик, так и в конце зимы, когда отмечаются максимальные криогенные напоры надмерзлотных грунтовых вод. В последнем случае перед проведением дренажных работ необходимо очистить колодец ото льда. Большой радиус выработки позволяет использовать при откачках поверхностные насосы. Для сильно обводненной территории к колодцам могут быть подведены трубчатые горизонтальные дрены, предназначенные для сбора надмерзлотных и поверхностных вод. В результате этого эффективность водопонижения от работы дренажно-осушительной системы может быть значительно повышена.

После выполнения водопонижительных работ для последующего укрепления грунтов оснований может быть рекомендована установка сезонно-охлаждающих систем.

Широкая практика использования известных эмпирических формул для расчета коэффициента фильтрации грунтов, вмещающих соленые водные растворы, является необоснованной. В программе инженерно-геологических изысканий для определения фильтрационных характеристик грунтов обязательно должно быть предусмотрено проведение опытно-фильтрационных работ.

Литература

1. Андреев С.В. К вопросу о борьбе с антропогенными криопэгами // Региональные и инженерные геокриологические исследования. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. – С.127–132.
2. Соловьев П.А. Экологическое значение насыпных грунтов криолитозоны г. Якутска // «Якутск – столица северной республики: глобальные проблемы градосферы и пути их решения»: материалы научно-практической конференции, ч. II. – Якутск: Фонд «Градосфера», 1997. – С.74–78.
3. Павлова Н.А., Сериков С.И. Влияние техногенных барражей на поверхностный и надмерзлотный сток в г. Якутске // Материалы Четвертой конференции геокриологов России. – М.: Университетская книга, 2011. – Т. 3 – С.250–255.
4. Шепелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2011. – 169 с.
5. Шепелев В.В., Чжан Т.Р. Особенности гидрогеологических условий урбанизированных территорий криолитозоны и основные проблемы борьбы с их подтоплением (на примере г. Якутск) // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 58–63.
6. Курчатова А.Н. Влияние техногенных наледей на засоленность литогенной основы городских ландшафтов Якутии // Криолитозона и подземные воды Сибири. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 1996. – Ч.2. – С. 95–105.
7. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. – М.: Недра, 1973. – 304 с.
8. Справочное руководство гидрогеолога / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др. – Л.: Недра, 1976. – Т.1. – 512 с.
9. Ним Ю.А., Федоров А.М. Зондирование методом переходных процессов при поисках и картографировании криопэгов // Мерзлотно-гидрогеологические исследования зоны свободного водообмена. – М.: Недра, 1989. – С.112–126.
10. Анисимова Н.П., Павлова Н.А. Особенности формирования криопэгов в слое годовых теплооборотов на территории Якутска // Криосфера Земли. – 2002. – №4. – С. 63–69.
11. Павлова Н.А. Динамика мерзлотно-гидрогеохимической обстановки на участках распространения криопэгов в г. Якутске // Наука и образование. – 2010. – №3. – С. 15–19
12. Скабаллонович И.А. Гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1960. – 408 с.

Поступила в редакцию 12.04.2013