

УДК 551.345

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-15-27

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗДАНИЙ ЯКУТСКОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ НА СОСТОЯНИЕ МЕРЗЛОГО ОСНОВАНИЯ

### IMPACT OF BUILDINGS OF THE YAKUTSK THERMAL POWER PLANT ON THE CONDITION OF THE FROZEN GROUND FOUNDATION

*С. И. Заболотник,  
Институт  
мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова  
СО РАН, г. Якутск  
sizabol@mpi.ysn.ru*



*S. Zabolotnik,  
Melnikov Permafrost  
Institute SB RAS,  
Yakutsk*

*П. С. Заболотник,  
Институт  
мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова  
СО РАН, г. Якутск  
poulza@mail.ru*



*P. Zabolotnik,  
Melnikov Permafrost  
Institute SB RAS,  
Yakutsk*

Отмечено, что Якутская тепловая электростанция является первым промышленным объектом СССР, построенным по принципу использования вечномёрзлых грунтов в качестве его основания. Сохранение многолетнемерзлого состояния грунтов основания обеспечено путём установки здания на колонны. В процессе длительной эксплуатации под зданиями и на прилегающих к ним участках образовались таликовые зоны с положительными температурами. Дальнейшее повышение температуры может привести к массовому оттаиванию грунтов, снижению их несущей способности и к деформациям фундаментов. Для контроля состояния оснований фундаментов Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН проводит систематические измерения температуры грунтов, позволяющие своевременно выявлять аварийные участки и осуществлять профилактические мероприятия по обеспечению устойчивости сооружений. Представлены результаты ежеквартальных измерений температуры в 2016 г. в 58 скважинах, в том числе в 16 — непосредственно под зданиями. Определены диапазоны изменения температуры грунтов, проведён сравнительный анализ новых результатов с полученными ранее. Составлены схемы температурных полей на глубинах 4 и 10 м. На данных схемах отмечены места, в пределах которых фундаменты опираются на мерзлое основание и на оттаявшие грунты. Установлено, что многолетнемерзлые грунты в основании всех сооружений сильно растаяли. К ноябрю 2016 г. на глубине заложения фундаментов их температура повысилась от  $-3...-5$  до  $-0,2...-1,0$  °С. Кроме того, образовались обширные таликовые зоны с положительными температурами, достигающими  $+7$  °С и более, мощность которых составляет 19...25 м

**Ключевые слова:** *главный корпус; здания водогрейных котлов, углекислотного цеха и химводоочистки; многолетнемерзлые грунты; талики; температура грунтов; сезоннодействующие охлаждающие установки; фундаменты; схемы; измерения*

It is noted that the Yakutsk Thermal Power Plant is the first industrial facility of the USSR, built on the principle of using evergreen soils as its base. Preservation of the permafrost condition of soil grounds is provided by installing the building on columns. In the process of long-term operation, talike zones with positive temperatures were formed under the buildings and on the adjacent areas. A further increase in temperature can lead to mass thawing of the soil, a reduction in their load-carrying capacity, and deformation of the foundations. To control the condition of the foundations of the foundation, the Permafrost Institute named after P. I. Melnikov of the SB RAS conducts systematic measurements of soil temperatures, which allow timely detection of emergency areas and carry out preventive measures to ensure the stability of structures. The results of quarterly temperature measurements in 2016 in 58 wells are presented, including 16-directly below the buildings. The ranges of change in soil temperature have been determined, and a comparative analysis of new results with those obtained earlier has been carried out. The schemes of temperature fields at depths of 4 and 10 m are made. These schemes show the places within which the foundations rest on a frozen base and on thawed grounds. It has been established that the permafrost soils at the base of all the structures are strongly dissolved. By November 2016, at the depth of foundation, their

temperature increased from  $-3...5$  to  $-0,2...1,0$  °C. In addition, extensive talike zones with positive temperatures of  $+7$  °C or more were formed, whose thickness is  $19...25$  m

*Key words:* main building; buildings of hot water boilers; carbon dioxide shop and chemical water purification plant; permafrost; taliks; ground temperature; seasonal cooling units; foundations; scheme; measurements

**В**ведение. Якутская тепловая электростанция (ЯТЭЦ) введена в постоянную эксплуатацию 7 ноября 1937 г. и с тех пор обеспечивает г. Якутск электроэнергией, а с 1961 г. и теплом [6]. ЯТЭЦ является первым промышленным объектом СССР, построенным по принципу использования вечномёрзлых грунтов в качестве его основания.

Сохранение многолетнемёрзлого состояния грунтов основания обеспечено путём установки здания на колонны, поднимающие его над поверхностью земли. Между поверхностью грунта и зданием оставлено сквозное проветриваемое подполье высотой  $1,2...1,8$  м, предназначенное для защиты грунтов основания от глубокого оттаивания под воздействием внутреннего тепла здания, а также для накопления в них запасов холода в зимнее время (рис. 1).

Фундаменты первой очереди ЯТЭЦ представляют собой отдельно стоящие через  $5...7$  м железобетонные колонны с башмаками. В зависимости от запроектированной нагрузки колонны имеют сечение от  $30\times30$  до  $80\times80$  см, а башмаки основания – от  $130\times130$  до  $317\times317$  см. Фундаменты установлены на глубину  $4,5$  м от поверхности площадки на ростверк, состоящий из двух рядов лиственничных брусьев сечением  $20\times20$  см, уложенных в перекрестном направлении. Фундаменты под турбогенераторы выполнены в виде сплошных бетонных плит площадью около  $60$  м<sup>2</sup> и толщиной  $1$  м, уложенных на ростверк из расположенных в перекрёстном направлении пяти рядов лиственничных брусьев. Кирпичные стены здания покоятся на мощных железобетонных монолитных рандбалках, которые жёстко связаны с колоннами [7].



Рис. 1. Проветриваемое подполье под главным корпусом Якутской ТЭЦ (фото С. И. Заболотника, 5 ноября 2009 г.) / Fig. 1. Ventilated underground under the main building of the Yakutsk TPP (photo by S. I. Zabolotnik, November 5, 2009)

В связи с постоянным ростом города требовалось все больше электроэнергии. Поэтому неоднократно проводилось рас-

ширение и реконструкция зданий ТЭЦ, комплекс которых приведен в соответствие с современными требованиями. Во время

этих работ соблюдался первый принцип строительства — сохранение многолетне-мёрзлого состояния грунтов основания.

Исследования на территории ЯТЭЦ впервые проведены С. И. Заболотником с 1982 по 1986 гг. в связи с предстоящим проектированием пристроя к зданию водогрейных котлов, которое было возведено в 1989 г. (рис. 2, крайняя правая часть). После 25-летнего перерыва руководство ЯТЭЦ предложило возобновить исследования с целью определения состояния грунтов непосредственно под зданиями и на прилегающих к ним территориях. Эти работы с небольшими перерывами продолжаются.

В процессе длительной эксплуатации под зданиями и на прилегающих к ним участках образовались таликовые зоны мощностью до 19...25 м, с положительными температурами, достигающими  $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$  и более. Дальнейшее повышение температуры может способствовать массовому оттаиванию грунтов, которое приведет к существенному снижению их несущей способности и деформациям фундаментов. Поэтому актуальным является осуществление постоянного контроля за изменением состояния мёрзлого основания зданий, его температурного режима и размеров таликовых участков.

В 2016 г. проведено четыре цикла измерения температуры грунтов (в феврале, мае, августе, ноябре) в скважинах глубиной 4...19 м. Скважины подготовлены для долговременных геотермических измерений, для чего они обсажены на полную глубину герметично заваренными (снизу и на стыках) металлическими трубами диаметром 40...50 мм. Затрубное пространство вокруг скважин засыпано сухим песком. Для предотвращения попадания в скважины осадков и наружного воздуха, особенно в зимнее время, обсадные трубы сверху закрыты металлическими нарезными крышками. Измерения проводились с помощью полупроводниковых терморезисторов и электронных датчиков, смонтированных в специальные термоустановки в соответствии с Руководством, разработанным в Институте мерзлотоведения СО РАН [1; 2]. В двадцати скважинах стационарно установлены термоустановки, оборудованные автоматическими регистраторами (логгерами) с ежесуточной записью температуры.

*Инженерно-геокриологическая характеристика территории ЯТЭЦ.* ЯТЭЦ находится в северо-восточной части Якутска на берегу городской протоки р. Лены. Она возведена на аллювиальной террасе, возвышающейся над уровнем межженных вод на 9...10 м (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид Якутской ТЭЦ (фото П. С. Заболотника, 5 сентября 2013 г.) / Fig. 2. General view of the Yakutsk TPP (photo by P. S. Zabolotnik, September 5, 2013)

Центральная Якутия, в пределах которой находится г. Якутск, относится к области сплошного распространения многолетнемёрзлых пород (ММП), мощность которых в регионе изменяется от 100 до 300 м, а их средняя годовая температура на глубине 20 м — от -2 до -4 °С [3].

По данным Н. И. Салтыкова, непосредственно на площади застройки станции мощность вечномёрзлой толщи достигала 180...200 м, а средние годовые температуры грунтов на глубине 15 м до возведения сооружений изменялись от -3 до -5 °С. Через десять лет после заложения фундаментов температура грунтов на глубине 5 м изменялась от -3,2 до -3,6 °С, а мощность сезоннопротаивающего слоя уменьшилась на 0,8 м и не превышала 1 м [7].

Площадка вокруг главного корпуса ЯТЭЦ и ряда других служебных помещений частично асфальтирована и до глубины 1...4 м представлена насыпным грунтом из разнородных песков, реже — суглинков с примесью щебня, гальки и шлака.

Под насыпным слоем повсеместно залегают аллювиальные отложения, сложенные главным образом песками и супесями, часто содержащими включения растительного детрита. В верхней части разрезов (до 2,0...7,5 м) встречаются отдельные горизонты супесей, линзы и прослои суглинков, мощностью 0,2...3,2 м. Нижние горизонты представлены в основном мелкими песками, переслаивающимися с песками средней крупности. Местами среди песка попадаются линзы супеси, мощностью до 80 см.

За исключением участков локальных таликов отложения на территории ЯТЭЦ находятся в многолетнемёрзлом состоянии. Мощность слоя сезонного промерзания в зависимости от степени растепления участков изменяется от 2 до 4 м, а глубина сезонного протаивания грунтов — от 1,5 до 4,5 м.

Криогенная текстура грунтов преимущественно массивная, редко (в супесчаных-суглинистых грунтах) — тонкая линзовидная. Влажность грунтов изменяется в широких пределах. В талых грунтах — от 3 до 35 %, в мёрзлых — от 5 до 88 %. Влажность более 40 %, как правило, установле-

на в пробах, содержащих включения органики.

На территории ЯТЭЦ в основном распространены незасоленные хлоридно-гидрокарбонатные грунты. Величина минерализации (соленость) и концентрация большинства компонентов, за исключением гидрокарбонатов, существенно выше в мерзлых грунтах. Засоленные многолетнемёрзлые грунты хлоридно-натриевого состава наблюдаются только между зданиями углекислотного цеха и химводоочистки, где обычно складировалась соль. Подземные воды, вскрытые скважинами в основании Якутской ТЭЦ, гидрокарбонатные или хлоридно-гидрокарбонатные смешанные по составу катионов. С увеличением глубины залегания подземных вод (до 13...14 м) происходит постепенное повышение их минерализации.

*Результаты исследования и их обсуждение.* Почти за 80-летний период эксплуатации комплекса зданий и сооружений ЯТЭЦ произошли существенные изменения температуры грунтов.

В течение первых 30 лет ее эксплуатации под зданиями, а также на примыкающих к ним участках сформировались обширные таликовые зоны. Основные причины их образования — тепловыделение от заглубленных объектов и утечки горячих производственных вод непосредственно в грунты основания. Для промораживания грунтов под главным корпусом около части стены, в непосредственной близости от которой находится циркуляционная насосная станция, в 1967 г. установлено шесть многотрубных сезоннодействующих охлаждающих установок (СОУ) системы С. И. Гапеева, объёмом по 500 л керосина. В 1973 г. с трёх сторон этой части здания установлено еще 17 аналогичных установок [4].

Ввод в действие СОУ действительно усилил мерзлотный режим грунтов в непосредственной близости от них. Однако полного ожидаемого эффекта по промораживанию оснований фундаментов получить не удалось. Подтверждение этому получено во время проведения исследований на территории ЯТЭЦ (1982—1986 гг., 2002 г.). К

этому времени сохранилось два разобщенных талика. Один из них находился под южной частью главного корпуса и на прилегающей территории. Мощность талика под зданием достигала 6,5 м, а температура грунтов не превышала  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Второй талик установлен около северо-западного торца первой очереди здания водогрейных котлов. Его мощность достигала 24,5 м, а средняя годовая температура в интервале 4...8 м изменялась от 6 до  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  [8].

Промораживанию таликов в этих местах в значительной мере препятствовали постоянные тепловыделения от заглубленной более чем на 10 м циркуляционной насосной станции и полузаглубленных тру-

бопроводов, а также периодически продолжавшиеся утечки горячей воды.

В течение последующих лет происходило как образование новых локальных таликовых участков, так и частичное промерзание сверху уже существующих. Кроме того, после устранения аварийных утечек воды начиналось постепенное промерзание вновь образовавшихся таликов [9; 10].

Для выявления современной геокриологической обстановки на территории ЯТЭЦ в 2016 г. проведены измерения температуры в 58 скважинах, в том числе в 16 — непосредственно под зданиями (рис. 3).

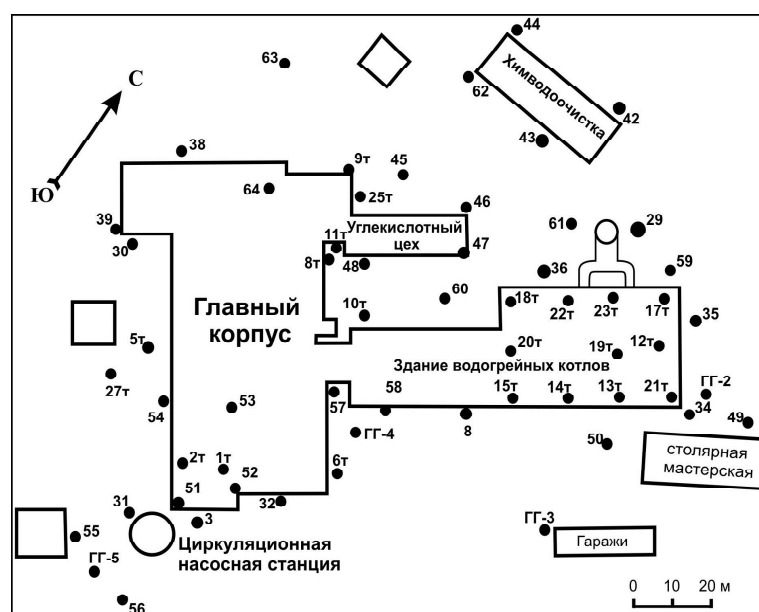


Рис. 3. Схема расположения скважин, в которых проводились измерения температуры грунтов /  
 Fig. 3. Scheme of the boreholes location in which ground temperature measurements were made

Установлено, что самый высокотемпературный талик сохранился вокруг заглубленного здания циркуляционной насосной станции. Ее отапливаемое помещение является постоянным источником тепла большой мощности. Длительное тепловое излучение из неё привело к тому, что грунты вокруг оттаяли на значительную глубину. В 2005 г. при бурении скв. 31, расположенной в непосредственной близости от этой станции, установлено, что грунты оттаяли

до глубины 23 м, а таликовая зона вокруг неё распространилась не менее чем на 25 м и захватила южный угол главного корпуса. Непосредственно вблизи насосной станции температура грунтов в 2016 г. в интервале 4,0...10,0 м изменялась от  $+7,8$  до  $+13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Около южного угла главного корпуса мощность талика также достаточно большая и достигает 22...23 м. Температура грунтов на глубине заложения фундаментов изменяется в интервалах  $+1,1$ ... $-6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

(скв. 51) и  $+0,2...-3,4$  °С (скв. 3), затем понижается с глубиной и в интервале 10...15 м колеблется от  $+0,6$  до  $+1,6$  °С.

Вблизи правой части юго-восточной стены главного корпуса с 2008 по 2011 гг. грунты находились в многолетнемерзлом состоянии. Однако в связи с локальной утечкой воды из трубопровода в 2012 г., по данным измерения температуры в скв. 32, грунты вокруг неё оттаяли до глубины 8,5 м. После устранения утечки в течение зимы 2012–2013 гг. происходило восстановление температурного режима грунтов (они промёрзли до глубины 7,5 м). Однако летом 2013 г. ствол скважины был снова растеплён до  $-0,3...0$  °С. В течение последующих лет температуры грунтов оставались примерно в тех же пределах, однако в ноябре 2016 г. в интервале 6...7 м сохранился талый прослой.

Выявленная ранее таликовая зона под главным корпусом сохранилась, а ее размеры вновь увеличились. Причиной этого являются периодически продолжающиеся утечки воды из системы коммуникаций, которые наблюдались нами во время бурения скважин в мае-июне 2012 г. и в зимнее время, в феврале 2013 г., когда наледи местами полностью покрывали поверхность проветриваемого подполья.

Эти факты позволяют определить причины, по которым, несмотря на очень суровые зимы в Якутске, приостановилось медленное восстановление температурного режима грунтов под зданием. В 2013 г., наоборот, граница талика продвинулась почти на 30 м от юго-восточной стены под южную часть главного корпуса и охватила значительную часть подпольного пространства.

Непосредственно под южным углом главного корпуса при бурении скв. № 51 глубиной 16,1 м в июне 2012 г. с глубины 12,1 м вскрыт обводненный песок. Ствол скважины заплывал после каждого подъёма снаряда. Нижняя граница талика не была достигнута, а температура грунтов в интервале 5...15 м изменялась в 2012 г. от  $+2,6$  до  $+4,7$  °С, в 2013 г. — от  $+1,1$  до  $+5,9$  °С, в 2016 г. — от  $+0,8$  до  $+5,7$  °С.

Вдоль юго-западной стены главного корпуса талик распространяется не более чем на 10 м. Измерения температуры в неглубокой (всего 3 м) скв. 2т показывают, что на забое температура грунтов зимой понижается до  $-2,6$  °С, а за лето повышается только до  $-0,3$  °С, что свидетельствует о том, что по крайней мере в верхней части основания грунты в этом месте проморожены.

Вглубь здания и вдоль юго-восточной стены талик распространяется, по-видимому, не более чем на 20 м. В расположенных на расстоянии 15...17 м от угла здания скважинах 1т и 52 температура грунтов на глубинах 5...10 м изменяется от  $-0,1$  до  $+0,3$  °С. Хотя грунты глубже 7 м здесь находятся в талом состоянии, температура их близка к 0 °С. Это является косвенным признаком того, что граница талика находится в непосредственной близости от них. Поэтому, мы полагали, что остальная часть основания главного корпуса опирается на многолетнемерзлые грунты. Очевидно, так оно и было, пока не произошли очередные утечки воды.

Измерения температуры грунтов в скв. № 53, расположенной в 30 м от южного угла главного корпуса (рис. 3), показали, что в августе 2012 г. под слоем сезонного промерзания в интервале 6...9 м были талые грунты с температурой до  $+0,1$  °С. С ноября 2012 г. по август 2013 г. происходило охлаждение этого слоя до 0 —  $-0,4$  °С, а с сентября по декабрь 2013 г. температура грунтов вновь повысилась почти до  $+0,5$  °С. В 2016 г. в этом месте вновь произошло сильное растепление грунтов. В интервале 5...10 м их температура изменялась 9 августа от  $+6,0$  до  $+7,3$  °С, а к 15 ноября повысилась до  $+6,8...8,5$  °С.

Достаточно мощный талик сохранился не только под восточной частью здания водогрейных котлов (ЗВК), но и распространяется далеко за его пределы. Ни одна из скважин глубиной 8...15 м, пробуренных вокруг этой части здания, нижней границы таликовой зоны не достигла. Наиболее высокие температуры грунтов наблюдались вблизи восточного угла ЗВК (рис. 3,

скв. 34). На глубине заложения фундаментов они изменялась от +0,2 до +2,8 °С, а на глубине 9,0...10,5 м — от +0,6 до 1,2 °С. Около северо-восточной стены здания (скв. 35) продолжалось восстановление температурного режима грунтов после утечек воды, когда температура 29 марта 2011 г. в интервале глубин 3...5,5 м превышала +35 °С [5]. В 2016 г. под сезонно-мерзлым слоем (4,0 м) температура была положительной. В интервалах 4...4,5 и 8...14 м она была близка к 0°, что свидетельствует о том, что происходит промерзание грунтов в этих горизонтах. Лишь в слое 5...7,5 м она остается более высокой, достигая +0,3...0,4 °С.

Постепенное промерзание грунтов сверху происходит и около северного угла ЗВК (рис. 3, скв. 59). Зимой 2015–2016 гг. они промёрзли почти до 7 м, а летом 2016 г. оттаяли ориентировочно на 3,5 м. Следовательно, в интервале 3,5...7,0 м сохранился перелеток, под которым до глубины 15 м грунты находятся в талом состоянии с температурой +0,1 до -0,2 °С. Поскольку все температурные кривые глубже 7 м безградиентны, то можно утверждать, что там происходят фазовые переходы и медленное промерзание грунтов.

Восстановление температурного режима установлено и вблизи западного угла ЗВК (рис. 3, скв. 36). Растепленные в 2013 г. до +1,0 °С грунты к ноябрю 2016 г. промёрзли почти до 8 м, а на глубине 9...10 м их температуры стали отрицательными и изменялись в пределах 0...-0,2 °С.

Здание углекислотного цеха (УКЦ) в настоящее время также находится как на мёрзлых, так и на частично оттаявших грунтах. В месте примыкания его к главному корпусу грунты ранее были мерзлыми. При бурении в 1982 г. скв. 11 глубиной 15,2 м, уничтоженной в 1983 г., под слоем сезонного протаивания вплоть до забоя были вскрыты многолетнемёрзлые породы, средняя годовая температура которых в интервале 7...15 м изменялась от -3,3 до -2,7 °С. При возобновлении исследований в 2005 г. во вновь пробуренной в этом месте скважине № 11т (рис. 3) температура

грунтов повысилась на 5...8 °С и изменялась от +2,2 до +6,1 °С. В течение следующего года происходило постепенное понижение температуры, к концу 2006 г. на глубине 10...11 м она понизилась до +0,1...-0,3 °С. В дальнейшем температура грунтов на глубине 10 м оставалась стабильной, колеблясь в диапазоне 0...+0,8 °С. Однако с 22 апреля до 22 сентября 2010 г. на глубине 9 м она повысилась от +0,3 до +6,7 °С, что свидетельствовало о длительных утечках горячей воды.

В течение 2011–2012 гг. в этом месте происходило постепенное восстановление температурного режима грунтов, в интервале 4...12 м температура понизилась до -0,1 °С. Однако в 2013 г. вновь происходили утечки и температура на глубине 8...9 м вновь повысилась до +3,3...3,4 °С.

В первые семь месяцев 2016 г. температура грунтов глубже 3 м понемногу понижалась, но уже в августе обнаружено ее повышение, продолжавшееся до середины ноября, когда она на глубине 3 м достигла +1,9 °С и оставалась положительной до 10,5 м.

Растепление грунтов от скв. 11т распространилось в восточном направлении и захватило южный угол УКЦ. Ещё в 2013 г. под слоем сезонного протаивания, составляющем около 2,6 м, здесь установлены многолетнемёрзлые породы, температура которых на глубине 4 м изменялась от -0,5 до -1,4 °С, а на 8...11 м — от -0,7 до -0,9 °С. В 2016 г. температура грунтов в интервале 8...11 м осталась в тех же пределах, а в интервале 3...4,5 м колебалась от +0,3 до -0,2 °С. Вероятнее всего, этот слой грунта оставался незамерзшим всю зиму.

Основание северо-восточной части УКЦ также было существенно растеплено. Около восточного угла здания в 2012 г. вскрыт талик глубиной более 17 м. В 2013 г. под сезонно-мерзлым слоем температура грунтов была положительной. На глубине 4...6 м она достигала +2,7...-2,9 °С, а в интервале 8...12 м изменялась от +0,3 до +0,9 °С. В последующие годы происходило охлаждение грунтов и к 16 ноября 2016 г. их температура понизилась до +0,1...-0,3 °С.

Продолжилось восстановление температурного режима основания и около северного угла УКЦ. К ноябрю 2016 г. грунты промерзли до глубины 10 м, а в интервале 10...15 м установились безградиентные температуры в диапазоне  $-0,06...-0,2$  °С, что свидетельствует о промерзании этого слоя.

Несмотря на наличие нескольких таликовых зон, фундаменты большей части зданий опираются на мерзлое основание.

Самые низкие температуры грунтов наблюдались под северо-восточной частью главного корпуса (ГК), где они изменялись от  $-1,8$  до  $-4,9$  °С на глубине заложения фундаментов и от  $-2,5$  до  $-3,2$  °С на глубине 10 м (рис. 3, скв. 64).

Вокруг западного угла ГК в течение 2008–2011 гг. средняя годовая температура грунтов (СГТГ) изменялась от  $-2,5$  до  $-4,1$  °С. Следовательно, в этом месте почти восстановилось предпостроечное состояние ММП. Такие низкие температуры обусловлены тем, что в этой части ГК располагаются только административные службы и нет агрегатов с большим тепловыделением. Поэтому влияние здания на подстилающие грунты здесь минимально.

Достаточно низкие температуры наблюдались и вдоль северо-западной и выступа юго-западной стен ГК. Около северного угла с 2008 по 2011 гг. на глубине 7,5...8,0 м СГТГ понизилась от  $-1,6$  до  $-2,6$  °С, а на глубине 4,5 м соответственно от  $-2,6$  до  $-3,4$  °С. Вблизи середины юго-западной стены ГК за четыре года наблюдений СГТГ также понизилась до  $-1,2$  °С на глубине 15...16 м и до  $-2,3$  °С – на глубине заложения фундаментов.

Самые высокие температуры ММП наблюдались вблизи таликовых зон.

Около восточного угла ГК они изменялись от  $-1,5...-1,8$  °С на глубине 11...15 м до  $-1,8...-2,8$  °С – на 4,5 м. В сторону талика, распространившегося вокруг циркуляционной насосной станции, температуры грунтов стали почти на 2 °С выше. В интервале 7,5...10,0 м СГТГ повысились до  $-0,1...-0,2$  °С, а на глубине заложения фундаментов они изменялись от  $-0,3$  до  $-0,8$  °С.

Вблизи примыкания углекислотного цеха к главному корпусу (рис. 3, скв. 8г) средние годовые температуры грунтов на глубине 9 м колебались в пределах от  $-0,1$  до  $-0,6$  °С, а на глубине 4,5 м – от  $-1,1$  до  $-1,8$  °С.

В 2016 г. происходило постепенное промерзание образовавшихся ранее таликовых участков, за исключением локального талика под южной частью главного корпуса. Из-за того, что на территории ЯТЭЦ появились межмерзлотные оттаявшие горизонты, в ряде мест сформировались различные температурные поля на глубинах 4 и 10 м.

На глубине 4 м, близкой к заложению фундаментов, размеры таликовых участков значительно меньше, а температура грунтов ниже, даже в ноябре, когда она близка к максимальной. Фундаменты зданий опираются на оттаявшие грунты только под юго-восточной частью углекислотного цеха, под восточным углом здания водогрейных котлов, под южным углом главного корпуса.

Относительно низкие температуры мерзлых грунтов (ниже  $-1...-2$  °С) установлены в северной и западной частях территории ЯТЭЦ, а под большей частью зданий они изменяются от  $-0,2$  до  $-1,0$  °С (рис. 4).

На глубине 10 м, где температуры грунтов близки к средним годовым, в ноябре 2016 г. наблюдалась иная картина.

Большая часть талика под углекислотным цехом промерзла снизу, остались оттаявшие грунты только под небольшим участком вокруг скв. 1т, расположенной в месте примыкания УКЦ к главному корпусу.

В то же время под зданием водогрейных котлов и под главным корпусом, где промерзание сформировавшихся таликов происходило только сверху, оттаявшие грунты сохранились на гораздо больших пространствах.

Кроме того, локальный в верхней части новый талик под южной частью главного корпуса сомкнулся с существующим уже много лет таликом вокруг циркуляционной насосной станции (рис. 5).



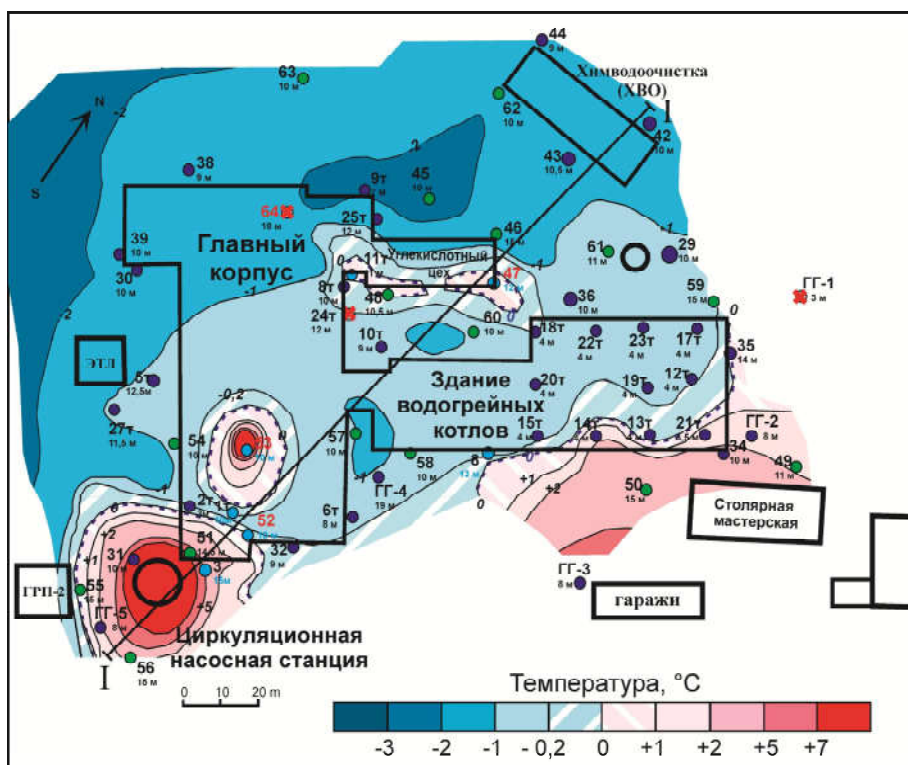


Рис. 4. Распределение температуры грунтов на глубине 4 м под зданиями и на прилегающей территории в ноябре 2016 г. / Fig. 4. Distribution of soil temperature at a depth of 4 m under buildings and in the adjacent territory in November 2016

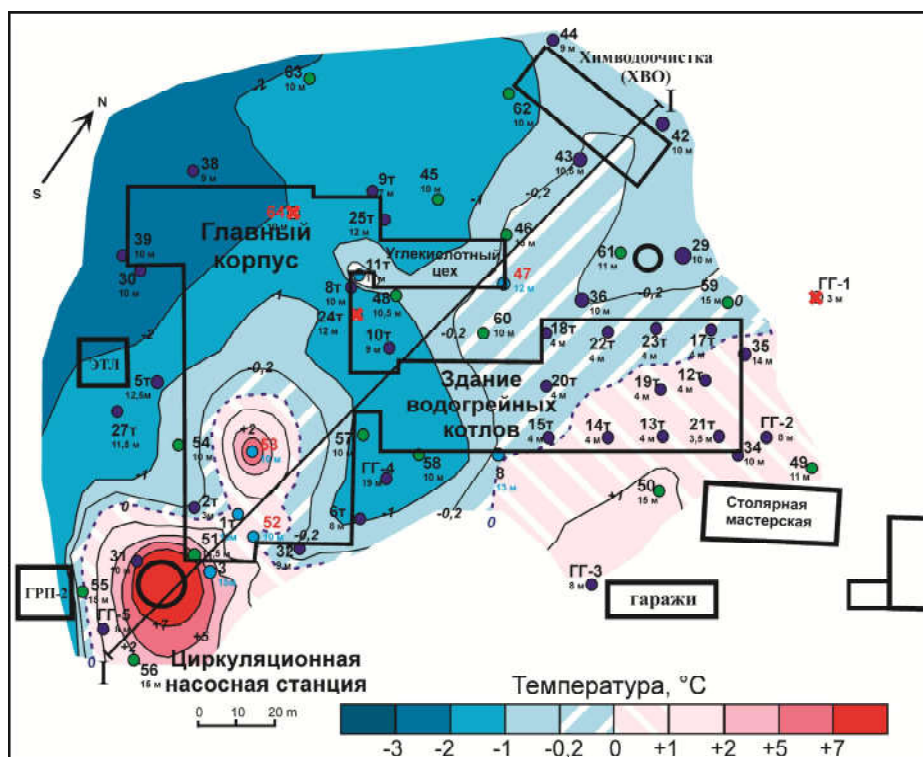


Рис. 5. Распределение температуры грунтов на глубине 10 м под зданиями и на прилегающей территории в ноябре 2016 г. / Fig. 5. Distribution of soil temperature at a depth of 10 m under buildings and in the adjacent territory in November 2016

Сохранившиеся под зданиями водогрейных котлов, углекислотного цеха и химводоочистки таликовые зоны оказывают большое влияние на окружающие участки. В связи с этим вблизи них наблюдаются высокие температуры многолетнемерзлых пород, изменяющиеся от 0 до  $-0,2$  °С. Примерно то же происходит под главным корпусом и вокруг циркуляционной насосной станции. Более низкие температуры ММП (ниже  $-1,0$  °С) установлены только на удалении от обширных таликовых зон (рис. 5).

Мощность таликов на территории ЯТЭЦ установлена от 18,9 до 24,5 м только при бурении нескольких скважин в разные годы. В настоящее время в таликах нет ни одной скважины, в которой можно было бы провести измерения температуры глубже 15 м. Поэтому на разрезе I—I от циркуляционной насосной станции до химводоочистки показаны изменения температуры грунтов только до глубин, в пределах которых можно было провести измерения (рис. 6).

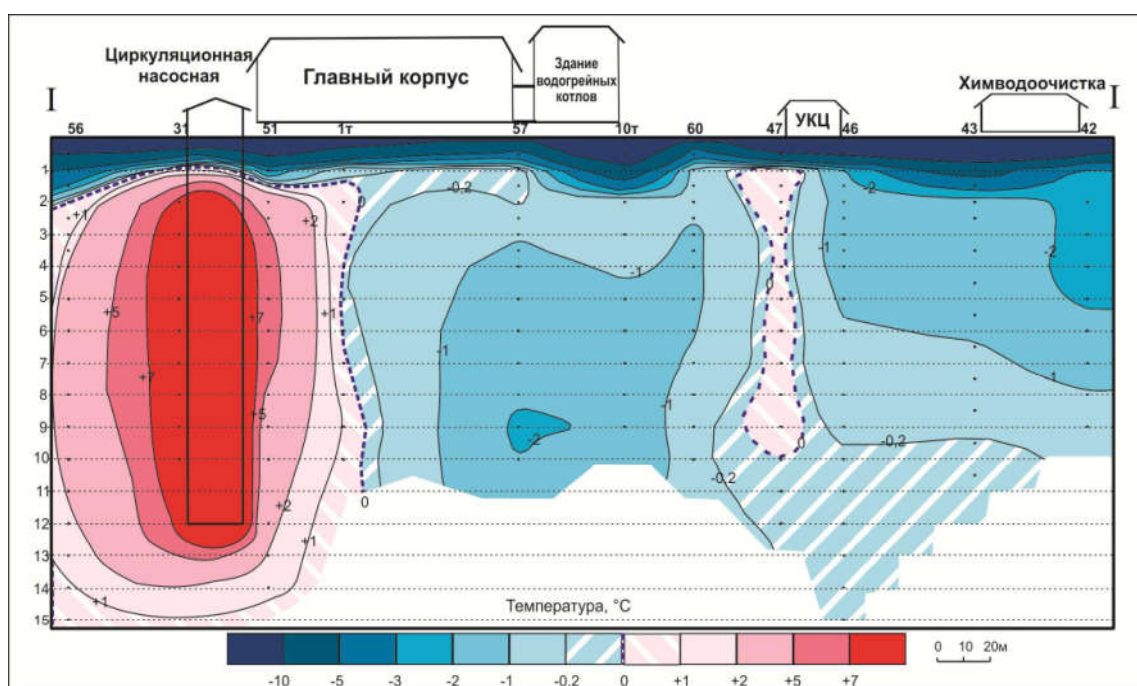


Рис. 6. Температурный профиль по линии I-I (ноябрь, 2016 г.) /  
Fig. 6. Temperature profile along the line I-I (November 2016)

Мощный талик вокруг циркуляционной насосной станции (ЦНС) сформировался в первые 30 лет эксплуатации Якутской ТЭЦ и сохранился до настоящего времени. Его существование обусловлено отепляющим влиянием отапливаемой заглубленной частью этого здания. Он распространился под угол главного корпуса и (по расчетам Г. П. Кузьмина) не промерзнет многие годы даже при создании вокруг ЦНС вентилируемого подполья.

Под зданием углекислотного цеха грунты также оттаяли на значительную глуби-

ну, однако температура их не превышает  $+0,3$  °С. После устранения аварийной утечки воды талик начал промерзать со стороны окружающих его мерзлых пород.

Под большей частью территории на глубине заложения фундаментов сохраняются хотя и относительно высокие (до  $-2$  °С), но отрицательные температуры грунтов и фундаменты зданий опираются на мерзлое основание.

*Выводы.* Годичный цикл исследований позволил уточнить состояние температурного поля в основании зданий ЯТЭЦ

и определить направленность его изменения.

Под серединой южной части главного корпуса из-за аварийных утечек воды температура грунтов значительно повысилась и в ноябре 2016 г. в интервале 5...10 м достигла +6,8...8,5 °С. В результате произошло оттаивание грунтов гораздо глубже забоя скв. 53, а талик распространился вокруг нее и на глубине 10 м соединился с таковым под южным углом главного корпуса (рис. 4, 5).

Занимавший в 2013 г. большую часть основания здания водогрейных котлов талик все последующие годы постепенно промерзал сверху, его верхняя граница опустилась ниже глубины заложения фундаментов. К середине ноября 2016 г. под слоем сезонного промерзания оттаявшие грунты остались только вблизи его юго-восточной стены и под восточным углом. В то же самое время на глубине 10 м таликовая зона сохранилась почти под всей восточной частью здания и распространилась за его пределы (рис. 5).

Под зданием углекислотного цеха установлено два разобщённых талика: в месте примыкания к главному корпусу и под восточным углом, их мощность вряд ли превышает 11...13 м.

Фундаменты здания химводоочистки опираются на мерзлое основание. Тем не менее под восточной его частью глубже 8,5 м находится талик.

Рассматривая геокриологическую обстановку на территории ЯТЭЦ в целом, необходимо отметить, что многолетнемёрзлые грунты в основании всех сооружений силь-

но растеплены. К настоящему времени на глубине 4 м (близкой к заложению основания фундаментов) их температура повысилась от -3...-5 °С до -0,2...-1,0 °С. Кроме того, образовались обширные таликовые зоны с положительными температурами, достигающими +7 °С и более, мощность которых составляет 19...25 м.

Результаты многолетних исследований показывают, что главной причиной растепления грунтов и образования таликов под зданиями и прилегающими к ним территориями являются утечки горячей и агрессивной сетевой воды. Температура многолетнемёрзлых пород под зданиями уже достигла критических значений. Дальнейшее её повышение в основании сооружений может привести к массовому оттаиванию грунтов и неравномерным просадкам, превышающим допустимые пределы.

В то же самое время не следует проводить искусственное промораживание таликов под зданиями, так как это приведёт к интенсивному пучению водонасыщенных грунтов и будет сопровождаться деформациями фундаментов, прогибами рандбалок и другими негативными процессами.

Несмотря на значительные изменения температурного режима грунтов, состояние всего комплекса сооружений остается достаточно стабильным. Это происходит потому, что при проектировании зданий заложен достаточно большой запас прочности: в их основании суглинисто-супесчаные грунты были заменены на непучинистые песчаные, а водогрейные котлы и турбогенераторы установлены на сплошные бетонные плиты.

## Список литературы

1. Балобаев В. Т., Бушков А. С., Романов В. Г., Склиренко С. Л. Автоматизированная установка для массовой градуировки полупроводниковых терморезисторов // Измерительная техника. 1987. № 3. С. 30–32.
2. Балобаев В. Т., Володько Б. В., Девяткин В. Н., Левченко А. И., Русаков В. Г. Руководство по применению полупроводниковых терморезисторов для геотермических измерений. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1985. 48 с.
3. Балобаев В. Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск: Наука, 1991. 193 с.
4. Гапеев С. И. Опыт использования охлаждающих установок в районах распространения вечной мерзлоты // Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1983. С. 41–58.

5. Заболотник С. И., Заболотник П. С. Динамика температуры грунтов вокруг и под зданиями Якутской тепловой электростанции // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. С. 70–80.

6. Над Леной ТЭЦ – как бригантна / под ред. Л. Завацкой, Т. Данилевской. Красноярск: Платина, 2007. 136 с.

7. Цытович Н. А., Салтыков Н. И., Жуков В. Ф., Мельников П. И. Фундаменты электростанции на вечной мерзлоте (опыт проектирования, возведения и эксплуатации Якутской центральной электростанции по принципу сохранения вечной мерзлоты). Москва; Ленинград: АН СССР, 1947. 104 с.

8. Zabolotnik S. I., Novikov N. I. Permafrost conditions and vertical displacements of foundations at yakutsk thermal power station for 35-50 years of operation // Permafrost Engineering. Vol. 1. Proceedings of the Fifth International Symposium on Permafrost Engineering. Yakutsk: Permafrost Institute Press, 2002. P. 255–262.

9. Zabolotnik S. I., Zabolotnik P. S. Ground temperatures beneath the buildings of the Yakutsk CHP Plant // Proceedings of the Eighth International Symposium on Permafrost Engineering (EISOPE). Lanzhou: Lanzhou University Press, 2009. P. 318–323.

10. Zabolotnik S. I., Zabolotnik P. S. Changes in the state of frozen ground in the course of long-term operation of the Yakutsk Combined Heat and Power (YCHP) Plant // Tenth International Conference on Permafrost. Vol. 2. Translations of Russian Contributions. Salekhard: The Northern Publisher, 2012. P. 537–542.

---

## References

1. Balobaev V. T., Bushkov A. S., Romanov V. G., Sklyarenko S. L. *Izmeritel'naya tehnika* (Measuring technique). 1987, no. 3, pp. 30–32.

2. Balobaev V. T., Volodko B. V., Devyatkin V. N., Levchenko A. I., Rusakov V. G. *Rukovodstvo po primeneniyu poluprovodnikovyyh termorezistorov dlya geotermicheskikh izmereniy* (Guidance on the use of semiconductor thermistors for geothermal measurements). Yakutsk: IMZ SB AS USSR, 1985. 48 p.

3. Balobaev V. T. *Geotermiya merzloy zony litosfery severa Azii* (Geothermy of the frozen zone of the lithosphere of the north of Asia). Novosibirsk: Nauka, 1991. 193 p.

4. Gapeev S. I. *Regulirovanie temperatury gruntov osnovaniya s pomoshchyu sezon-nodeystvuyushchih ohlazhdayushchih ustroystv* (Regulating the temperature of base soils using season-based cooling devices). Yakutsk: IMZ SB AS USSR, 1983. P. 41–58.

5. Zabolotnik S. I., Zabolotnik P. S. *Kriosfera Zemli* (Cryosphere of the Earth), 2016, vol. XX, pp. 70–80.

6. *Nad Lenoy TETs – kak brigantina / pod red. L. Zavatskoy, T. Danilevskoy* (Over Lena TPP – as a brigantine / ed. L. Zavatskaya, T. Danilevskaya). Krasnoyarsk: Platina, 2007. 136 p.

7. Tsytovich N. A., Saltykov N. I., Zhukov V. F., Melnikov P. I. *Fundamenty elek-trostantsii na vechnoy merzlotte (opyt proektirovaniya, vozvedeniya i ekspluatatsii Yakutskoy tsentralnoy elektrostantsii po printsipu sohraneniya vechnoy merzloty)* (Foundations of electric power station on permafrost (experience in designing, erecting and operating the Yakut central power station on the principle of permafrost conservation)). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences, 1947. 104 p.

8. Zabolotnik S. I., Novikov N. I. *Permafrost Engineering* [Permafrost Engineering]. Vol. 1. Proceedings of the Fifth International Symposium on Permafrost Engineering. Yakutsk: Permafrost Institute Press, 2002. P. 255-262.

9. Zabolotnik S. I., Zabolotnik P. S. *Proceedings of the Eighth International Symposium on Permafrost Engineering (EISOPE)* [Proceedings of the Eighth International Symposium on Permafrost Engineering (EISOPE)]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2009. P. 318–323.

10. Zabolotnik S. I., Zabolotnik P. S. *Tenth International Conference on Permafrost* [Tenth International Conference on Permafrost]. Vol. 2. Translations of Russian Contributions. Salekhard: The Northern Publisher, 2012. P. 537–542.

---

## Коротко об авторах

**Заболотник Станислав Иванович**, канд. геол.-минер. наук, ведущий научный сотрудник, действительный член Международной Академии информатизации, Почётный работник науки и техники Российской Федерации, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия. Область научных интересов: исследования закономерностей формирования сезонно- и многолетне-мёрзлых пород и изменения их состояния при техногенных воздействиях  
zabolotnik@mpi.ysn.ru

**Заболотник Павел Станиславович**, аспирант, научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия. Область научных интересов: исследования закономерностей формирования сезонно- и многолетнемёрзлых пород и изменения их состояния при техногенных воздействиях  
poulza@mail.ru

### ***Briefly about the authors***

---

**Stanislav Zabolotnik**, candidate of geological-mineralogical sciences, leading researcher, full member of the International Academy of Informatization, Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Institute for Permafrost Research named after P.I. Melnikov, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia. Sphere of scientific interests: studies of regularities in the formation of seasonal and permafrost and changes in their state under man-made impacts

**Pavel Zabolotnik**, postgraduate, researcher, Permafrost Institute named after P.I. Melnikov, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia. Sphere of scientific interests: studies of regularities in the formation of seasonal and permafrost and changes in their state under man-made impacts

### ***Образец цитирования***

---

*Заболотник С. П., Заболотник П. С. Воздействие зданий якутской тепловой электростанции на состояние мерзлого основания // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 6. С. 15–27. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-15-27.*

*Zabolotnik S., Zabolotnik P. Impact of buildings of the Yakutsk thermal power plant on the condition of the frozen ground foundation // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 6, pp. 5–27. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-6-15-27.*

Статья поступила в редакцию: 16.05.2018 г.  
Статья принята к публикации: 29.05.2018 г.

