

ХРОНИКА

УДК 551.345

DOI: 10.15372/KZ20220307

**ВКЛАД МЕРЗЛОТОВЕДОВ В ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЯКУТСКОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ****(к 85-летию Якутской ТЭЦ)****С.И. Заболотник, П.С. Заболотник***Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; sizabol@mpi.ysn.ru, poulza@mail.ru*

Представлены сведения о роли и вкладе выдающихся ученых – основоположников отдельных разделов мерзлотоведения академика АН СССР П.И. Мельникова, члена-корреспондента АН СССР Н.А. Цытовича, профессора Н.И. Салтыкова и кандидата технических наук В.Ф. Жукова в создание Якутской тепловой электростанции. Они принимали активное непосредственное участие в разработке проекта, обосновании способа строительства, в исследовании площадки размещения сооружения, установке фундаментов и наблюдениях за объектом во время его эксплуатации. Приводятся данные о состоянии грунтов в основании станции, о причинах образования таликов и их распространении с начала исследований авторов до настоящего времени. Также объясняются причины, по которым, несмотря на обилие таликов, состояние этого комплекса сооружений остается достаточно стабильным.

Ключевые слова: Якутская тепловая электростанция, талики, многолетнемерзлые породы, температура грунтов.

**CONTRIBUTION OF PERMAFROST SCIENTISTS TO SAFE OPERATION
OF THE YAKUTSK COMBINED HEAT AND POWER PLANT
(to the 85th anniversary of the Yakutsk CHPP)****S.I. Zabolotnik, P.S. Zabolotnik***Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Merzlotnaya str. 36, Yakutsk,
677010, Russia; sizabol@mpi.ysn.ru, poulza@mail.ru*

This paper has described the role and contribution of P.I. Melnikov, Academician of the USSR Academy of Sciences; N.A. Tsytoich, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences; N.I. Saltykov, Professor, and V.F. Zhukov, Candidate of Technical Sciences, to construction of the Yakutsk Combined Heat and Power Plant. These outstanding figures known for their pioneering researches in different fields of permafrost science and engineering were actively and directly involved in the construction project, including the planning and design, foundation analysis, site investigation, foundation construction, and post-construction monitoring. The foundation condition at the plant site, the causes for talik development and the dynamics of talik distribution during the period of authors' observations have been discussed. The reasons of the quite stable state of all the plant's facilities despite the widespread talik occurrence have been adduced.

Key words: Yakutsk Combined Heat and Power Plant, permafrost, talik, ground temperature.

ВВЕДЕНИЕ

Якутская центральная электрическая станция (ЯЦЭС) была введена в постоянную эксплуатацию 7 ноября 1937 г. и с тех пор обеспечивает город Якутск электроэнергией, а с 1961 г. и теплом [Над Леной ТЭЦ..., 2007]. Она вырабатывает электроэнергии 52 млн кВт и тепла 916 тыс. Гкал. В 1969 г. ЯЦЭС была переименована в Якутскую теплоэлектростанцию (ЯТЭЦ) (рис. 1).

ЯЦЭС является первым промышленным объектом СССР, построенным по принципу использования вечномёрзлых грунтов в качестве основания, поэтому мерзлотоведы принимали самое ак-

тивное участие на всех этапах создания этого сооружения: проектирования, строительства и эксплуатации.

Первая электростанция в Якутске появилась еще в 1914 г. В связи с ростом города ее мощности стало не хватать, поэтому в 1931 г. “Энергоплан” принял решение о строительстве в Якутске тепловой электростанции. При выборе площадки строительства рассматривались три варианта: 1) на выходах коренных пород в районе Кангаласского угольного месторождения; 2) на северо-восточной окраине Якутска, на пристани Гольминка; 3) на



Рис. 1. Общий вид Якутской ТЭЦ.

Фото П.С. Заболотника, 5 сентября 2013 г.

территории Спасского монастыря. Первый вариант предполагал обеспечение ЯЦЭС местным углем и заложение фундаментов на прочных коренных породах. Преимущество второго варианта – обеспечение станции водой и близость к основным промышленным предприятиям, а также возможность подвоза угля по реке баржами. Третий вариант характеризовался отсутствием с поверхности слоя покровных суглинков, малой льдистостью песков, распространенных на территории монастыря, и хорошими условиями дренажа.

Предпочтение было отдано второму варианту из-за невозможности обеспечения большим количеством алюминиевых проводов для создания линий электропередач на площадках первого и третьего вариантов.

**Участие мерзловедов
в предпроектных изысканиях,
проектировании станции, строительстве
и непосредственных наблюдениях
за ее состоянием в первые годы эксплуатации**

Проект ЯЦЭС был разработан в строительном секторе “Теплоэлектропроекта” под руководством старшего инженера Н.В. Архипова в 1932 г. В проектировании ЯЦЭС в качестве консультанта принимал участие Н.А. Цытович* – советский ученый и педагог в области механики грунтов, геомеханики и инженерной геологии (рис. 2). С 1936 по 1956 г. он работал в Москве в Институте мерз-

ловедения им. В.А. Обручева (ИМЕРО). Одновременно Президиум АН СССР поручил ему организовать базу Академии наук в Якутске. В 1947–1953 гг. он – первый председатель Президиума Якутского филиала АН СССР. Расчеты устойчивости режима мерзлоты под зданием ЯЦЭС и расчеты фундаментов с учетом особенностей мерзлотных условий базировались на его работе “Лекции по расчету фундаментов в условиях вечной мерзлоты”.

Термометрические наблюдения и мерзлотно-грунтовое обследование территории электростанции проводил кандидат технических наук (впоследствии доктор, профессор) Н.И. Салтыков (рис. 3). Измерения температуры производились с помощью залегивленных термометров, а мерзлотно-грунтовое обследование – посредством описания кернов из скважин и разрезов в шурфах.

Центральная Якутия, в пределах которой находится г. Якутск, относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП), мощность которых в регионе изменяется от 100 до 300 м, а средняя годовая температура на глубине 20 м – от -2 до -4 °С [Балобаев, 1991].

Первая очередь ЯЦЭС была возведена на аллювиальной террасе, возвышающейся на 9–10 м над уровнем меженных вод, в 70 м от берегового уступа протоки р. Лены.

В районе ЯЦЭС, по данным Н.И. Салтыкова, мощность вечномерзлой толщи достигала 180–200 м, а средние годовые температуры грунтов на

* Вся информация о деятельности Н.А. Цытовича и других выдающихся ученых была получена из рукописных отчетов и архивных документов.



Рис. 2. Николай Александрович Цытович (1900–1984).

Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии наук СССР (1943), Герой Социалистического Труда (1980), лауреат Сталинской премии (1950), трижды кавалер ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени, заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1969).



Рис. 3. Николай Иванович Салтыков (1888–1964).

Доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Якутской АССР, кавалер орденов Красная Звезда, “Знак Почета”. С 1936 по 1960 г. работал в Институте мерзлотоведения им. В.А. Обручева (Москва), с 1960 по 1964 г. – в Институте мерзлотоведения СО АН СССР (Якутск) и возглавлял лабораторию оснований и земляных сооружений.

глубине 15 м непосредственно на площади застройки до возведения сооружений изменялись от -3 до -5 °С [Цытович и др., 1947].

Площадка вокруг главного корпуса станции и ряда других служебных помещений до глубины 1–4 м была представлена насыпным грунтом из разнозернистых песков, реже суглинков с примесью щебня, гальки и шлака. Ниже повсеместно залегали аллювиальные отложения, представленные мелкозернистыми песками, часто переслаивающимися со средне- и крупнозернистыми. В верхней части разреза (до 11–15 м) встречались отдельные горизонты супесей, линзы и прослои суглинков, супесей и тонкозернистых песков, а также включения растительного детрита. На основе проведенных в 1938–1939 гг. исследований на территории ЯЦЭС Н.И. Салтыков подготовил карту распределения температуры грунтов на глубине 5 м (рис. 4).

Строительство ЯЦЭС, в проекте которой была предусмотрена установка фундаментов на вечномерзлых грунтах, не допуская их оттаивания, было начато в 1932 г. В течение первых трех лет руководил строительством выпускник Московского института инженеров транспорта, один из основоположников метода предпостроечного оттаивания и уплотнения грунтов, кандидат тех-

нических наук В.Ф. Жуков (рис. 5). Он был назначен главным инженером и руководил подготовкой котлована, заложением бетонных плит и лиственничных брусьев, а также изготовлением и установкой фундаментных опор.

Сохранение многолетнемерзлого состояния грунтов основания было запланировано обеспечить путем установки здания на колонны с башмаками, а между поверхностью грунта и зданием оставить 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 запасов холода в них в зимнее время (рис. 6).

Фундаменты первой очереди ЯТЭЦ представляли собой отдельно стоящие железобетонные колонны с башмаками. В зависимости от нагрузки колонны имели сечение от 30×30 до 80×80 см, а башмаки основания – от 130×130 до 317×317 см. Фундаменты были установлены на глубину 4.5 м от поверхности площадки на настил, состоящий из двух рядов лиственничных брусьев сечением 20×20 см, уложенных в перекрестном направлении. Фундаменты под турбогенераторы были выполнены в виде сплошных бетонных плит толщиной 1 м.

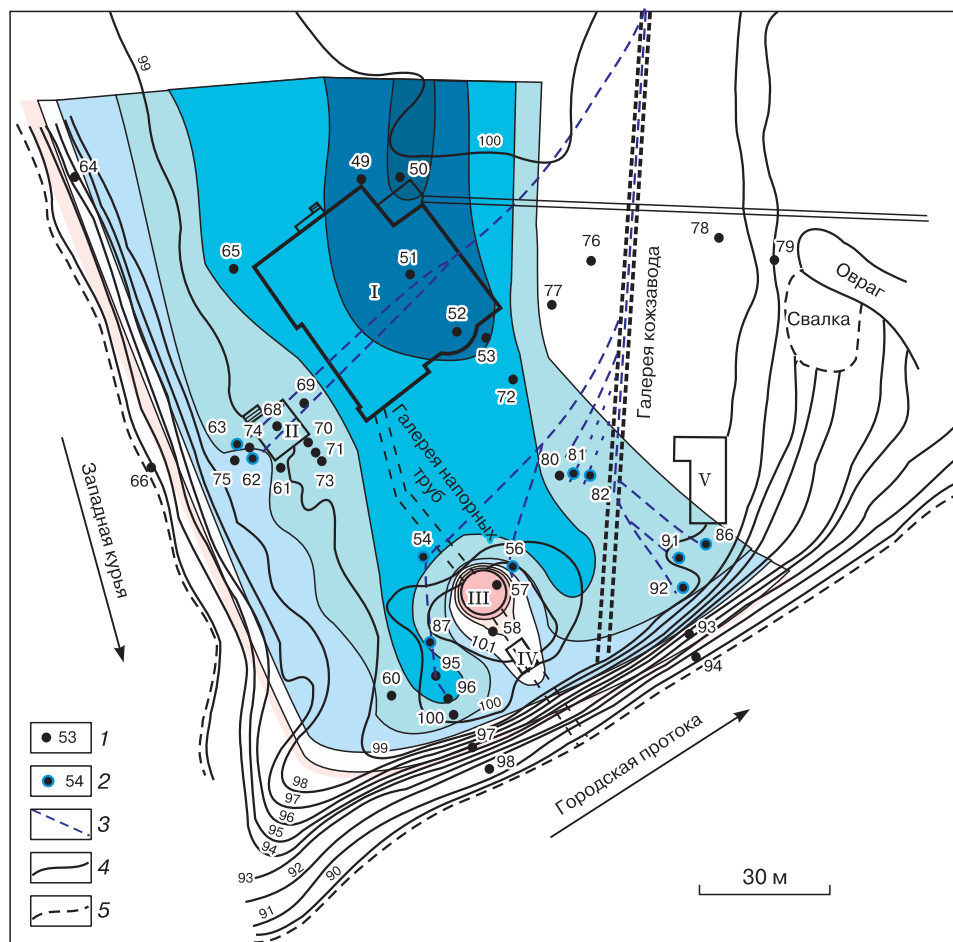


Рис. 4. Температурное поле территории ЯТЭЦ в 1939 г. на глубине 5 м.

Цветом показана средняя годовая температура грунтов. I – главное здание, II – дизельная станция, III – насосная станция, IV – колодезь, V – гараж; 1 – скважины, 2 – скважины с минерализованной водой, 3 – пути движения минерализованной воды, 4 – горизонталы с цифрами их высотного уровня, 5 – уровень водной поверхности.

Все работы по подготовке котлованов, установке фундаментных колонн и плит, а также засыпке их грунтом выполнялись в зимнее время. Одновременно происходило и промораживание вскрытых отложений. Засыпка котлованов производилась мерзлым грунтом из отвалов слоями по 20–25 см. Пустоты между комьями мерзлого грунта заполнялись сухим песком, а образовавшаяся после этого масса утрамбовывалась. Непосредственное пространство вокруг колонн заполнялось песчано-гравийным грунтом.

Применение принципа строительства с сохранением многолетнемерзлых грунтов в основании крупного со-



Рис. 5. Владимир Федорович Жуков (1906–1996).

Кандидат технических наук. С 1940 по 1964 г. работал в Москве в Институте мерзлотоведения им. В.А. Обручева, в 1956–1958 гг. был заместителем директора института. С 1965 г. работал в Научно-исследовательском институте оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеева Госстроя СССР.



Рис. 6. Проветриваемое подполье под главным корпусом ЯТЭЦ.

Фото С.И. Заболотника, 5 ноября 2009 г.

оружения с большим тепловыделением, каким является ЯТЭЦ, при отсутствии в то время практического опыта требовало постоянного контроля за состоянием грунтов в его основании и самого здания. Именно эту работу взялся проводить начальник Якутской научно-исследовательской мерзлот-

ной станции кандидат геолого-минералогических наук (впоследствии академик) П.И. Мельников (рис. 7).

Первые десятилетия П.И. Мельников постоянно следил за температурным состоянием грунтов оснований ЯЦЭС и сооружения в целом, проводя измерения в скважинах заливочными термометрами. Он установил, что через 10 лет после заложения фундаментов, несмотря на начавшиеся утечки воды, 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 [Цытович и др., 1947].



Рис. 7. Павел Иванович Мельников (1908–1994).

Доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик АН СССР, Герой Социалистического Труда (1984), заслуженный деятель науки и техники РСФСР, дважды кавалер ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени. С 1941 г. был начальником Якутской научно-исследовательской мерзлотной станции, с 1956 г. ставшей Северо-Восточным отделением Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева АН СССР. С 1960 по 1988 г. возглавлял Институт мерзлотоведения СО АН СССР. Являлся президентом (1983–1988 гг.) и вице-президентом (1988–1994 гг.) Международной ассоциации по мерзлотоведению. В 1995 г. его имя было присвоено созданному им Институту мерзлотоведения СО РАН.

В последующие десятилетия никаких особых проблем при эксплуатации зданий ЯТЭЦ не возникало, поэтому регулярные исследования на ее территории мерзлотоведы не проводили. В то же самое время город Якутск рос, и ему требовалось все больше тепла и электроэнергии. Для обеспечения этого неоднократно проводились расширение и реконструкция зданий электроцентрали, комплекс которых был приведен в соответствие с современными требованиями. В 1978 г. было построено здание водогрейных котлов, в 1989 г. к нему была добавлена пристройка под котлы КВГМ-100. Все новые постройки возводились по первому принципу строительства – сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов основания.

Проблемы, возникавшие при эксплуатации ЯТЭЦ, и современное состояние грунтовых оснований

В связи с появлением комплекса новых сооружений снова возникла необходимость контроля состояния грунтов в основании фундаментов и несущих конструкций самих зданий. Поэтому Институтом мерзлотоведения были возобновлены исследования на территории ЯТЭЦ, которые с 1982 г. начал проводить С.И. Заболотник, а с 2005 г. проводит также П.С. Заболотник. С 1986 до 2015 г. эти работы выполнялись с перерывами, а с 2016 г. по настоящее время непрерывно осуществляется комплекс исследований, включающий ежеквартальные измерения температуры грунтов более чем в 90 скважинах, а также весенний и осенний циклы наблюдений за вертикальными перемещениями фундаментов и технологического оборудования.

В течение длительной эксплуатации электростанции эпизодически возникали проблемы обеспечения устойчивости сооружений из-за частичного оттаивания многолетнемерзлых грунтов под ними. Они были обусловлены главным образом утечками нагретых производственных вод непосредственно в грунты оснований из дренажных труб, канализационных сетей и других коммуникаций.

Для промораживания грунтов основания под главным корпусом около части его стены, в непосредственной близости от которой находится циркуляционная насосная станция, еще в 1967 г. были установлены и пущены в работу 6 многотрубных сезоннодействующих охлаждающих установок (СОУ) системы С.И. Гапеева объемом по 500 л керосина каждая. В 1973 г. уже с трех сторон этого здания были установлены еще 17 аналогичных установок. СОУ были размещены на расстоянии 1.7–3.5 м от стен здания с шагом от 2.9–3.1 до 5–7 м (рис. 8). Согласно заключению “Сибтехэнерго”, установленные СОУ на ЯТЭЦ за две зимы понизили температуру грунтов на глубине 6 м от положительных значений до -3°C . Сам ав-

тор изобретения сообщил: “Внедрение... многотрубных автоматически действующих охлаждающих установок позволило... восстановить мерзлое основание и усилить его под деформирующимися зданиями ЯТЭЦ” [Гапеев, 1983, с. 54].

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. Одной из главных причин является то, что СОУ были установлены на достаточно большом расстоянии как от стен здания, так и друг от друга. На основе результатов многочисленных опытных данных Л.Н. Хрусталева, О.М. Янченко и Л.А. Наумова [1983] сделали вывод, “что в зависимости от климатических и мерзлотно-грунтовых условий удается достичь замораживания грунта в радиусе от 1 м (Красноярск) до 2.5 м (Воркута)” (с. 5). Аналогичные сведения по радиусу промораживания грунтов с помощью СОУ за один зимний сезон приводят и другие исследователи [Александров, 1983; Миренбург, Федосеев, 1983]. Было мало шансов проморозить талик под зданием, так как большинство СОУ находились от его стен на расстоянии за пределами радиуса их действия.

Подтверждение тому, что талик под главным корпусом не удалось проморозить полностью, авторы получили во время проведения собственных исследований на территории ЯТЭЦ. Измерения температуры грунтов с помощью терморезисторов в скважинах № 3, 5 и 30, находящихся в непосредственной близости от СОУ (около 1 м), показали, что с октября 1982 по февраль 1986 г. температура грунтов в интервале глубин от 5 до 14 м изменялась от -0.5 до -6.9°C . Тем не менее непосредственно под южным углом главного корпуса, вокруг которого с наружной стороны установлены СОУ, талик сохранился (см. рис. 8), а температура грунтов с мая 1985 по апрель 1986 г. на глубине 4 м изменялась от -0.4 до $+1.8^{\circ}\text{C}$.

Промораживанию талика в этом месте в значительной мере препятствовали постоянные тепловыделения от заглубленной более чем на 10 м циркуляционной насосной станции (ЦНС) и полузаглубленных трубопроводов, а также периодически продолжавшиеся утечки горячей воды. Отапливаемое помещение станции является постоянным источником тепла большой мощности. Длительное тепловое излучение из нее привело к тому, что грунты вокруг оттаяли на значительную глубину. В июле 2005 г. при бурении скважины 31, расположенной в непосредственной близости от ЦНС, было установлено, что грунты оттаяли до глубины 23 м, а таликовая зона вокруг нее распространилась не менее чем на 25 м и захватила южный угол главного корпуса [Заболотник, Заболотник, 2016].

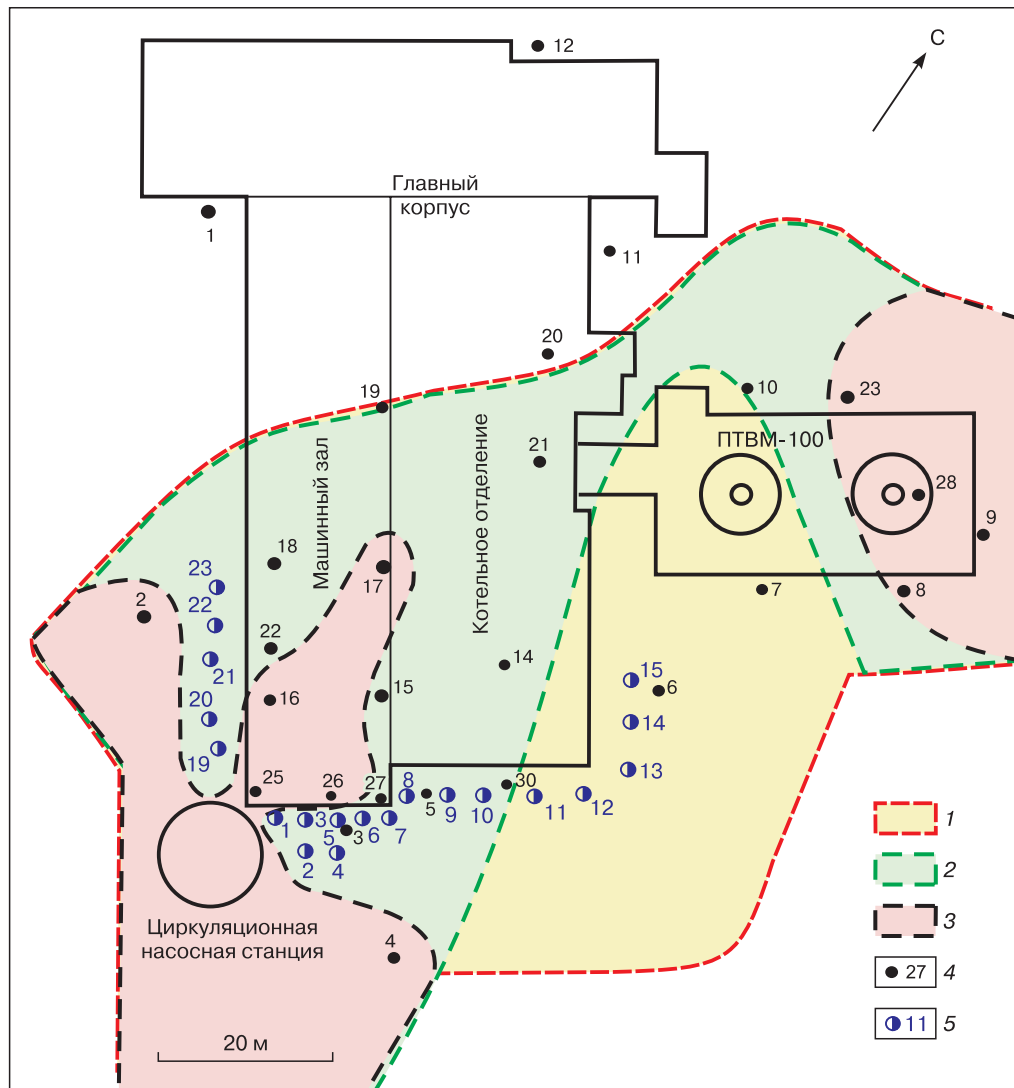


Рис. 8. Изменения границ таликов на площадке ЯТЭЦ с 1976 по 1986 г. [Заболотник, Заболотник, 2016].

Границы таликов по данным: 1 – Якутского отделения Красноярского треста инженерно-строительных изысканий (Крас-ТИСИЗ), 1976 г.; 2 – Новосибирского производственного объединения «Сибтехэнерго», 1978 г.; 3 – Института мерзлотоведения СО АН СССР, 1986 г. 4 – скважина и ее номер; 5 – СОУ и ее номер.

За почти 85-летний период эксплуатации целого комплекса зданий и сооружений произошли существенные изменения состояния грунтов, в результате которых образовались таликовые зоны мощностью 19–25 м с положительными температурами, достигающими $+7^{\circ}\text{C}$ и более, как в основании фундаментов, так и на примыкающих к ним участках. Площади таликов значительно сократились, тем не менее они остались в тех же местах, а также образовались под вновь построенными сооружениями (рис. 9).

Вокруг циркуляционной насосной станции и под южным углом главного корпуса талик сохра-

няется до настоящего времени, но с более низкими температурами. Под остальной частью главного корпуса до 2014 г. основания фундаментов опирались на мерзлые грунты. Однако из-за последовавших утечек воды произошло резкое растепление грунтов, и в ноябре 2021 г. температура их повысилась до $+8.5^{\circ}\text{C}$, а талик занял почти всю южную часть главного корпуса.

Второй мощный талик сформировался под восточной частью первой очереди здания водогрейных котлов (ЗВК-1). В 1986 г. его мощность в непосредственной близости от восточного торца ЗВК-1 составляла 24.5 м (см. рис. 8). В 1989 г. к

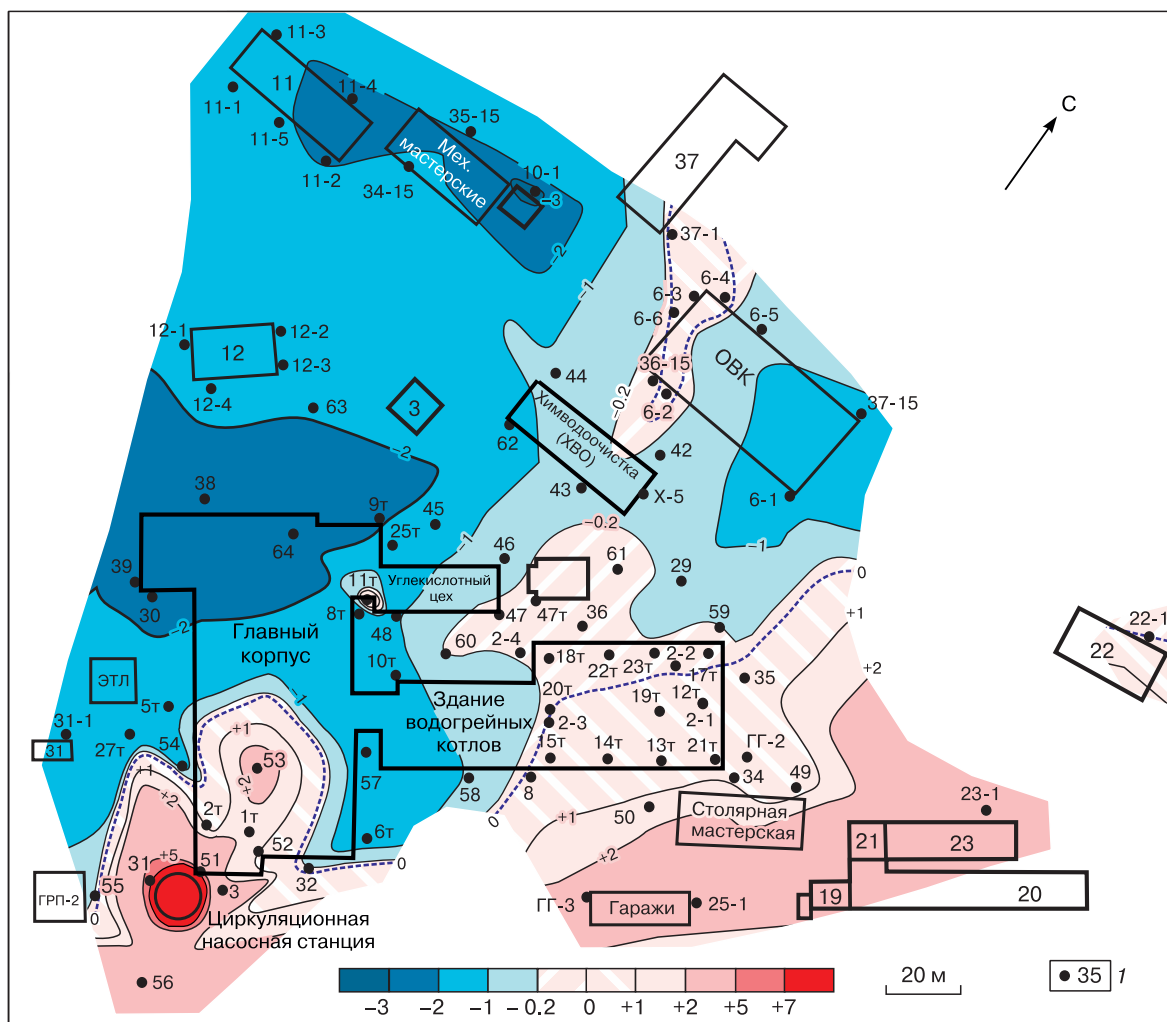


Рис. 9. Температура грунтов на глубине 10 м в ноябре 2020 г.

ОВК – объединенно-вспомогательный комплекс; ЭТЛ – электротехническая лаборатория; 3 – ГРП, 10 – проходная ЯТЭЦ, 11 – контора ЯТЭЦ, 12 – ПТО и медпункт, 20 – теплица, 19 – диспетчерская, 21 – помещение для персонала, 22 – склад № 1, 23 – склад № 2, 31 – участок по ремонту насосного оборудования, 37 – оперативно-диспетчерская служба. 1 – скважина и ее номер.

ЗВК-1 был пристроен новый корпус (ЗВК-2) по размеру немного крупнее предыдущего, в котором установлены котлы КВГМ-100. Хотя перед возведением нового корпуса котлован промораживался в зимнее время, талик сохранился здесь и до настоящего времени. Он находится под большей частью ЗВК-2 и простирается далеко за его пределы. Все последние годы происходило постепенное промерзание грунтов сверху, достигающее глубины более 4 м. К настоящему времени под слоем сезонного промерзания оттаявшие грунты остались только под юго-восточной частью здания (рис. 10). В то же время на глубине 10 м таликовая зона сохранилась почти под половиной ЗВК и распространилась далеко за его пределы (см. рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований на территории ЯТЭЦ показывают, что главной причиной образования таликов под зданиями и прилегающими к ним территориями являются утечки горячей и агрессивной сетевой воды. Они практически ежегодно фиксировались авторами при измерении температуры грунтов под различными частями сооружений.

Рассматривая геокриологическую обстановку на территории ЯТЭЦ в целом, необходимо отметить, что грунты в основании некоторых сооружений растеплены. Через 10 лет после ввода ЯЦЭС в эксплуатацию температура грунтов, по данным П.И. Мельникова, на глубине 5 м изменялась от

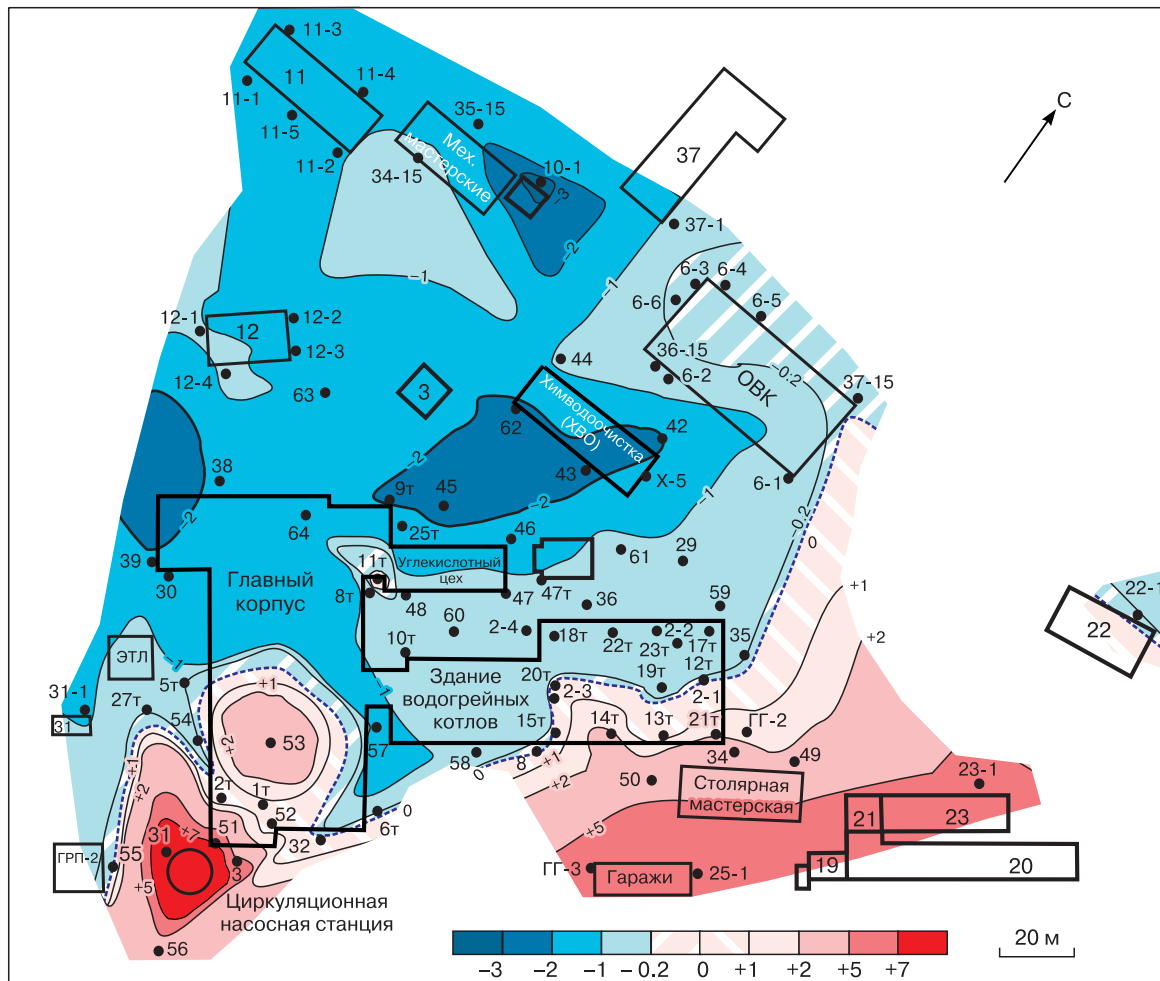


Рис. 10. Температурное поле на глубине 4 м в ноябре 2020 г.

Условные обозн. см. на рис. 9.

–3.2 до –3.6 °C [Цытович и др., 1947]. В настоящее время на глубине 4 м (близкой к заложению основания фундаментов) она изменяется под большей частью зданий от –0.2 до –2.0 °C и лишь на небольших участках от –2.0 до –3.0 °C (см. рис. 10). Аналогичная картина наблюдается и на глубине 10 м, где температура грунтов ниже –2 °C установлена только под западным углом главного корпуса, на прилегающей к нему с северо-запада части территории, под механическими мастерскими ЦТС и некоторыми административными зданиями (см. рис. 9).

Многолетние исследования на территории Якутской ТЭЦ показали, что за почти 85-летний период эксплуатации зданий и сооружений произошли значительные изменения температурного режима грунтов. В ряде мест образовались тапки глубиной до 25 м, средняя годовая температура грунтов в которых достигала 12–13 °C. Несмотря

на это, состояние всего комплекса сооружений остается достаточно стабильным. Это происходит потому, что при проектировании зданий был заложен достаточно большой запас прочности. В их основании суглинисто-супесчаные грунты были заменены на непучинистые и непросадочные при оттаивании песчаные, а фундаменты под котлы и турбогенераторы были выполнены из сплошных бетонных плит площадью около 60 м² и толщиной 1 м.

Благодаря регулярному проведению авторами исследований состояния грунтов оснований Якутской ТЭЦ, руководство станции имеет возможность применять упреждающие меры по предотвращению развития негативных последствий. Своевременно полученная информация позволяет срочно приступать к ликвидации утечек воды из коммуникаций, к расчистке ледяных скоплений и созданию дренажных канав для отведения воды из

проветриваемых подполий, проводить ремонт и усиление корродирующих и разрушающихся несущих конструкций и др.

Все это позволяет до настоящего времени обеспечивать надежность работы теплоэлектроцентрали. В результате состояние всего комплекса сооружений остается полностью пригодным для дальнейшей эксплуатации, хотя некоторые из них уже много лет частично расположены на оттаявших грунтах.

В последнее время за счет естественного холода при отсутствии утечек воды наблюдается постепенное восстановление температурного режима грунтов в основании зданий и на примыкающих к ним участках. Однако происходит оно очень медленно, и на полное восстановление мерзлого состояния грунтов понадобятся многие-многие годы.

Литература

Александров Ю.А. Опыт использования термосвай при строительстве в Воркутинском районе // Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1983, с. 88–94.

Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск, Наука, 1991, 194 с.

Гапеев С.И. Опыт использования охлаждающих установок в районах распространения вечной мерзлоты // Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1983, с. 41–58.

Заболотник С.И., Заболотник П.С. Динамика температуры грунтов вокруг и под зданиями Якутской тепловой электростанции // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 1, с. 70–80.

Миренбург Ю.С., Федосеев Ю.Г. Взаимодействие термосвай с промораживаемым основанием // Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1983, с. 82–88.

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

Хрусталева Л.Н., Янченко О.М., Наумова Л.А. Опыт и перспективы использования автономных парожидкостных охлаждающих устройств в строительстве на вечномёрзлых

грунтах // Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1983, с. 3–12.

Цытович Н.А. Фундаменты электростанции на вечной мерзлоте (опыт проектирования, возведения и эксплуатации Якутской центральной электростанции по принципу сохранения вечной мерзлоты) / Н.А. Цытович, Н.И. Салтыков, В.Ф. Жуков, П.И. Мельников. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1947, 104 с.

References

Alexandrov Yu.A. Experience in using thermal piles during construction in the Vorkuta region. In: Regulation of the temperature of base soils using seasonal cooling devices. Yakutsk, Permafrost Institute, SB of the USSR Academy of Sciences, 1983, p. 88–94 (in Russian).

Balobaev V.T. Geotermiya merzloy zony severa Azii [Geothermy of the permafrost zone of the lithosphere in northern Asia]. Novosibirsk, Nauka, 1991, 194 p. (in Russian).

Gapeev S.I. Experience of using cooling units in permafrost areas. In: Regulation of the temperature of the base soils using seasonal cooling devices. Yakutsk, Permafrost Institute, SB of the USSR Academy of Sciences, 1983, p. 41–58 (in Russian).

Zabolotnik S.I., Zabolotnik P.S. Ground temperature dynamics around and beneath the Yakutsk combined heat and power plant buildings. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2016, vol. XX, No. 1, p. 64–74 (in Russian).

Mirenburg Yu.S., Fedoseev Yu.G. Interaction of thermal piles with a frozen base. In: Regulation of the temperature of the base soils using seasonal cooling devices. Yakutsk, Permafrost Institute, SB of the USSR Academy of Sciences, 1983, p. 82–88 (in Russian).

Nad Leno TETS – kak brigantina [Above Lena CHP – like a brigantine]. L. Zavatskaya, T. Danilevskaya (Eds.). Krasnoyarsk, Platina, 2007, 136 p. (in Russian).

Khrustalev L.N., Yanchenko O.M., Naumova L.A. Experience and prospects of using autonomous vapor-liquid cooling devices in construction on permafrost soils. In: Regulation of the temperature of base soils using seasonal cooling devices. Yakutsk, Permafrost Institute, SB of the USSR Academy of Sciences, 1983, p. 3–12 (in Russian).

Tsytoich N.A., Saltykov N.I., Zhukov V.F., Melnikov P.I. The foundations of a power plant on permafrost (experience in the design, construction and operation of the Yakutsk central power plant based on the principle of preserving permafrost). Moscow; Leningrad, USSR Academy of Sciences, 1947, 104 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 11 января 2022 г.,
после доработки – 7 апреля 2022 г.,
принята к публикации 27 апреля 2022 г.*