

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
ЯМАЛО-НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
Ямало-Ненецкого автономного округа

Выпуск № 2 (103)

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ АРКТИКИ

УДК: 551.34

DOI 10.26110/ARCTIC.2019.103.2.001

Комова Нина Николаевна

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра криолитологии и гляциологии, студентка бакалавриата 3 г. о.
199991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Московский государственный университет,
географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,
+79776163043, +7(495)9393673,
nnkomova@gmail.com

Гребенец Валерий Иванович

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии,
доцент, кандидат геолого-минералогических наук
199991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Московский государственный университет, Географический
факультет, Кафедра криолитологии и гляциологии,
+79175010844, +7(495)9393673,
vgreb@inbox.ru

Маслаков Алексей Алексеевич

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера,
научный сотрудник, кандидат географических наук,
199991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Московский государственный университет,
географический факультет, +79851002081, +7(495)9392526,
alexey.maslakov@geogr.msu.ru

Толманов Василий Андреевич

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра криолитологии и гляциологии, студент магистратуры 1 г. о.
199991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, Московский государственный университет, географический
факультет, кафедра криолитологии и гляциологии.
+79251882496, +7(495)9393673,
vasilytolmanov@gmail.com

N.N. Komova, V.I. Grebenets, A.A. Maslakov, V.A. Tolmanov

УСТОЙЧИВОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ Р. ЩУЧЬЮ (ЮЖНЫЙ ЯМАЛ) В РАЗНООБРАЗНЫХ ЛАНДШАФТНО- МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЯХ

STABILITY OF THE RAILWAY CROSSING OVER THE RIVER SHCHUCHYA (SOUTHERN YAMAL) IN VARIOUS LANDSCAPE AND PERMAFROST CONDITIONS

Аннотация. В статье представлены результаты изучения мерзлотно-ландшафтного разнообразия территории в районе мостового перехода через р. Щучью (южный Ямал). В ходе полевых исследований было выделено 5 основных природно-территориальных комплексов (ПТК): лесотундра, кустарниково-мохово-осоковая тундра, полигональная кустарниково-моховая тундра, мохово-кустарничковая тундра, типичная моховая тундра. Для каждого ПТК определена ландшафтная структура, растительный состав, мощность сезонноталого слоя и проведена термометрия верхнего горизонта почв. Рассмотрено состояние мостового перехода и геокриологические условия основания.

Abstract. The article presents the results of permafrost and landscape diversity study near the railway crossing over the river Shchuchya (southern Yamal). In the course of field studies, 5 main natural complexes were identified: forest tundra, shrub-moss-sedge tundra, polygonal shrub-moss tundra, moss-shrub tundra and typical moss tundra. For each natural complex, landscape structure, vegetation cover and active layer thickness were determined, thermometry of surficial soil layer was carried out. The status of the bridge crossing and its permafrost conditions were considered.

Ключевые слова: сезонноталый слой, многолетняя мерзлота, Ямал, железная дорога, техногенное воздействие.

Keywords: active layer, permafrost, Yamal, railway, technological impact.

Введение

Строительство автомобильных и железных дорог тесно связано с устройством мостовых переходов. Инженерные сооружения в условиях вечной мерзлоты должны отвечать требованиям безопасности и непрерывно поддерживать перевозки по дорогам, поэтому мониторинг криогенных процессов и геокриологических условий крайне важен для обеспечения нормальных условий эксплуатации мостов.

Для минимизации воздействия опасных криогенных процессов на инженерные объекты возникает необходимость управления геокриологической обстановкой. Строительство мостовых переходов в криолитозоне крайне сложно: чаще всего приходится возводить сооружения непосредственно в зоне распространения подрусовых таликов, что усложняет проектирование мостов и нормальные условия их эксплуатации. Важно защищать мостовые переходы в период ледохода – проводить мероприятия по обеспечению безналедного пропуска вод под мостами. В зависимости от сложности и индивидуальных характеристик объекта строительство может иметь свои особенности, однако важно также прогнозировать будущую динамику мерзлотных условий и интенсивность экзогенных процессов, и их влияние на строительные объекты (Мягков, 1995).

Регулирование мерзлотных условий можно осуществить несколькими путями:

1. Использование приемов по повышению стабилизации мёрзлых оснований. Достигается понижением температуры мерзлоты или промораживанием таликовых зон, т. е. повышением прочностных характеристик грунтов. Большинство сооружений в криолитозоне построено по

принципу I (Свод правил..., 2011), т. е. с сохранением многолетнемёрзлого состояния грунтов оснований при строительстве на весь период эксплуатации объекта. В качестве основных способов укрепления мерзлоты рекомендуется применять трубчатые охлаждающие установки автоматического действия (Хрусталёв, 2005), свайные фундаменты с холодными проветриваемыми подпольями (Гребенец, Рогов 2000) или прочие конструкции (Козлов, Тюрин, 2013). Помимо этого, во избежание деформаций инженерных объектов, необходимы мероприятия по обеспечению долговечности и надежности работы охлаждающих установок и проветриваемых подполий в течение всего периода эксплуатации объекта (Титков, Гребенец, 2006).

2. Сохранение и стабилизация мерзлоты – сохранение естественного температурного режима грунтов (т. е. недопущение дополнительного промораживания грунтов оснований или их оттаивания). Для сохранения начальных температур грунтов в основании опор охлаждающих установок следует максимально приближать или совмещать их с несущими элементами опор и располагать только группами с шагом, определяемым расчетами (Вялов и др. 1984).

Цель данной статьи – продемонстрировать разнообразие мерзлотно-ландшафтных условий в районе мостового железнодорожного перехода р. Щучьей и текущий результат взаимодействия данного инженерного объекта с вечномерзлыми грунтами. Представленные в работе данные могут дополнить сведения о ландшафтно-мерзлотной обстановке в регионе для проектирования и строительства объектов нефтяной и газовой инфраструктуры.



Рис. 1. Район исследований (источник: Google Earth)

Район исследований

Изучаемая территория расположена в южной части п-ова Ямал, в долинном комплексе р. Щучьей (67° 29' 19" с. ш., 67° 25' 45" в. д.) и охватывает площадь около 20 км² (рис. 1). Фундамент Западно-Сибирской плиты слагают палеозойские, протерозойские и архейские отложения, перекрытые мощным чехлом осадочных отложений среднего и позднего фанерозоя (Трофимов, 1977).

Современный облик района сформировался в плейстоцен-голоценовую эпоху. Колебания климата приводили к частым трансгрессиям и регрессиям морей в северной части территории, в результате чего к настоящему времени образовалась аккумулятивно-денудационная равнина с разветвленной речной сетью. Из-за отсутствия значительного перепада высот для изучаемой территории характерно относительное однообразие рельефа, которое, в свою очередь, обусловило выраженную зональность ландшафтов.

Климат отличается характерными для данного региона суровыми, длительными зимами и коротким прохладным летом. Близость к холодным арктическим морям вкупе с преобладанием равнинных территорий, по которым беспрепятственно продвигаются воздушные массы, обусловили малое количество солнечных дней и глубокое промерзание грунтов зимой.

На полуострове Ямал почвы представлены преимущественно глееземами, криоземами и торфяно-глееземами. Это связано с повышенной

гидроморфностью ландшафтов и преобладанием относительно выровненных форм рельефа (Абакумов и др., 2016).

Ландшафты южного Ямала в основном представлены кустарничковой тундрой, однако при проведении полевых исследований проводилось изучение также и обширных участков типичной тундры. Растительность в кустарничковой тундре представлена зарослями тундровых кустарников, в основном *Salix Lanata*. В заболоченных понижениях более обычны кустарниковые ивы (*под Salix*), *Ledum Palustre*, *Vaccinium Uliginosum* и *Vaccinium Vitis*. Нижний ярус растительности образован зелёными и сфагновыми мхами (*Sphagnum Baltica*). На юге подзоны сначала на склонах долин, а затем и на междуречьях появляется *Larix Sibirica*.

Район исследования характеризуется зоной сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Их мощность достигает 200–400 м (Геокриологическая карта СССР, 1991). Сквозные талики существуют только под наиболее крупными озёрами и под Байдарацкой и Обской губами. В пределах реки Щучьей имеются достаточно глубокие таликовые зоны (15–20 м) (Фирсов и др., 1989).

Район реки Щучьей характеризуется высокими вариациями температуры вечномерзлых грунтов: от 0°C (на контакте с таликовыми зонами) до –3,0°C.. –3,5°C в пределах типичной тундры. Широко развиты высокотемпературные сильнольдистые грунты различного состава и активно протекают

термокарстовые процессы. Наиболее распространенными криогенными формами рельефа на водораздельных пространствах являются термокарстовые образования – озёра, хасыреи и приуроченные к полигональному рельефу бугры пучения (Касымская, 2014).

Свой исток река Щучья берёт на Полярном Урале, впадая в Обскую губу. В русле реки боковая эрозия преобладает над донной, поэтому наблюдается сильное меандрирование и наличие старичных озёр по обоим берегам. Ширина реки составляет 100–150 м, местами до 200 м. На отдельных участках берега вода подмывает высокую пойму, а низкая пойма практически отсутствует. На правом берегу прослеживаются пляжи шириной до 50–70 м. Ширина высокой поймы достигает 50–70 м. Склоны террасы пологие; высота первой террасы достигает 4 м, ширина – 300–400 м. Площадка террасы характеризуется сильной заболоченностью: наблюдаются отдельные озёра, в том числе перешедшие в низовые болота.

Морозное пучение грунтов сезонноталого слоя активно протекает на заболоченных и обводненных участках всех геоморфологических уровней,

сложенных супесчано-суглинистыми отложениями. В изучаемом регионе многолетние бугры пучения и распученные торфяники существуют повсеместно.

Ширина реки Щучьей в створе перехода составляет около 70 м (рис. 2), в процессе отсыпки площадок под временные опоры с обоих берегов русло сузилось на 10–15 м, с заметным ускорением течения. Максимальная глубина реки под мостом составляет 5–6 м, профиль русла корытообразный, дно почти ровное. Непосредственно в районе перехода дневная поверхность представляет собой площадку, сложенную по обоим берегам насыпными грунтами разной мощности. Согласно топографическим планам, составленным в 1986 г., изначально район перехода представлял собой выровненную поверхность с абсолютными высотами 38,5–39,0 м на правом берегу и 39,0–41,0 на левом.

Свободная от отсыпки природная поверхность на правом берегу представляет собой высокую пойму р. Щучьей, высота ее от уреза воды составляет около 4 м. Поверхность пологоволнистая, слабо выпуклая, поросшая разреженным лиственничным лесом с мохово-разнотравно-кустарничковым покровом.



Рис. 2. Река Щучья, вид с моста (фото Коровиной Д.И.)

На левом берегу река врезается в отложения верхнеплейстоценовой сартанской озерно-аллювиальной террасы, поверхность которой возвышается над урезом воды на 5–6 м. Левый берег опускается к воде невысоким (около 3 м) крутым (~45°) уступом, поросшим вдоль бровки густым ивняком.

Площадки мостового перехода по обоим берегам сложены с поверхности насыпными грунтами (t/V), преимущественно сезоннотальными, мощностью от 1,7 до 5,5 м, представленными глыбами и щебнем скальных пород различных размеров, местами с песчано-супесчано-суглинистым заполнителем 15–25%. При

отсутствии заполнителя в грунте отмечены пустоты до 10–15% (Титков, Гребенец, Сахаров, 2008).

Голоценовые аллювиальные отложения высокой поймы (a/IV) вскрыты на правом берегу р. Щучьей под насыпными грунтами и представлены пылеватými песками мощностью от 2 до 6 м с прослоями и линзами супеси, переходящими вниз по разрезу в переслаивание песков пылеватых и супеси мощностью 2,3–4,5 м с линзами песка мелкого мощностью до 1,7 м. В основании разреза залегает слой песка средней крупности мощностью 0,8–2,3 м. Мощность толщи аллювиальных отложений составляет от 5,3 до 9,4 м, она повсеместно содержит слаборазложившиеся древесные остатки. Аллювиальные отложения подстилаются озерными суглинками пылеватými, легкими и тяжелыми.

Верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные отложения II террасы сартанского времени (*Iall³⁻⁴*) слагают природную поверхность левого берега. Представлены песками пылеватými мощностью от 4,5 до 7,5 м, подстилаемыми песками мелкими и средней крупности мощностью от 0,4 до 3,0 м, а также озерными суглинками. Слой содержит прослои и линзы слаборазложившихся древесных остатков.



Рис. 3. Почвенный шурф, обустроенный в кустарниково-мохово-осоковой тундре (фото Коровиной Д.И.)

Верхнеплейстоценовые озерные отложения каргинского времени (*I III²⁻³*) представлены в верхней части разреза суглинками пылеватými, легкими и тяжелыми, серого цвета, слоистой текстуры, с

включениями слаборазложившихся древесных остатков. Мощность толщи – до 30,5 м, она подстилается глинами легкими пылеватými, вскрытыми в 50-метровых скважинах с глубины 30,0–39,5 м.

Криогенное строение отложений отличается неоднородностью. Для верхних горизонтов, сложенных супесчано-песчаными грунтами, характерно преобладание массивных криогенных текстур, которые в супесчаных прослоях сменяются на тонкошлировые частослоистые слоисто-сетчатые текстуры с субвертикальными шлирами и линзами льда. Такой характер криотекстур дает основание сделать вывод о сингенетическом промерзании верхних горизонтов аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений.

Озерные суглинки характеризуются чередованием в верхних горизонтах слоистых и сетчатых текстур, ниже по разрезу преобладают редкослоистые тонкошлировые текстуры с интервалами между ледяными шлирами до 1–2 м. По показателю льдистости за счет ледяных включений (i_l) грунты относятся к слабольдистым, вместе с тем за счет высокого содержания льда-цемента в минеральных прослоях суммарная льдистость (i_{tot}) достигает 0,52. Для озерных глин, слагающих основание разреза, характерны преимущественно массивные криотекстуры с редкими шлирами льда, расположенными через 1,5–3 м. При этом величина i_{tot} в глинах, как и в суглинках, остается высокой, достигая 0,42.

Методика исследований

Для выявления природных закономерностей было организовано ландшафтно-мерзлотное обследование территории. Проводились исследования ландшафтного разнообразия, изучались биогеографические сообщества в качестве индикаторов мерзлотных условий.

Основные маршрутные исследования в долинном комплексе р. Щучьей были проведены на участках тундры, где развита многолетняя мерзлота. Для изучения ландшафтно-мерзлотных условий в пределах тундрового пространства были выбраны участки, расположенные на надпойменной террасе с различными типами местности. В них была организована поверхностная термометрия для определения теплоизолирующей роли растительного покрова. Также производилось изучение динамики и глубины сезонноталого слоя по заложенным профилям в различных типах ландшафтов. Также обустроивались почвенно-грунтовые разрезы (рис. 3), по которым определялись характеристики почвенно-грунтовых горизонтов – гранулометрический состав, плотность, цвет, структурно-текстурные особенности, влажность, наличие включений и новообразований, типы контактов с другими горизонтами. В шурфах изучалось криолитологическое строение и свойства сезонноталого слоя и многолетнемёрзлых грунтов. Исследуемые разрезы также позволяли измерять глубины сезонно-талого слоя в различных ландшафтных и литогенетических условиях.

В каждом типе местности проводились ландшафтно-мерзлотные исследования: измерение глубины СТС через каждые 5 метров по «кресту» (профили с севера на юг и с запада на восток) 50х50 м (всего 21 точка), поверхностная термометрия в различных типах ландшафта для каждой точки и шурфование.

Одной из ключевых задач являлось изучение физико-механических и теплофизических особенностей оттаивающих пород. Для этого измерялась температура грунтов с помощью электронных термометров по глубине слоя сезонного оттаивания и в верхней части мерзлоты, далее – графическая обработка термометрии и оценка факторов, влияющих на терморегим многолетнемерзлых пород. Помимо этого, с помощью термометров в точках наблюдения измерялись температура наружного воздуха и на поверхности грунтов под мохово-торфяным покровом.

Практическая значимость изучения динамики сезонноталого слоя заключается в возможности определить характер сложения поверхности территории, условия дренированности и связанный с ней водный

режим, выявить особенности формирования почвенного покрова и характеристики почвы, спрогнозировать возможное развитие криогенных и склоновых процессов. Всё вышеперечисленное позволяет судить об условиях существования многолетнемерзлых пород в различных ландшафтах, делать предположения о вариативности мощности сезонноталого слоя и разрабатывать прогнозы по глубине протаивания пород.

Результаты и обсуждение

Разнообразие ландшафтно-мерзлотных условий.

Основные маршрутные исследования правого берега были проведены на площадке 1 надпойменной террасы (НПТ) южнее реки Щучьей, на участке тундровой поверхности, где развита многолетняя мерзлота (см. рисунок 1). Данная территория представляет собой пологую поверхность и относится к лесотундровой природной зоне, переходящей к южной и типичной тундре. В ходе работ были выделены 5 природно-территориальных комплексов (ПТК) (рис. 4):

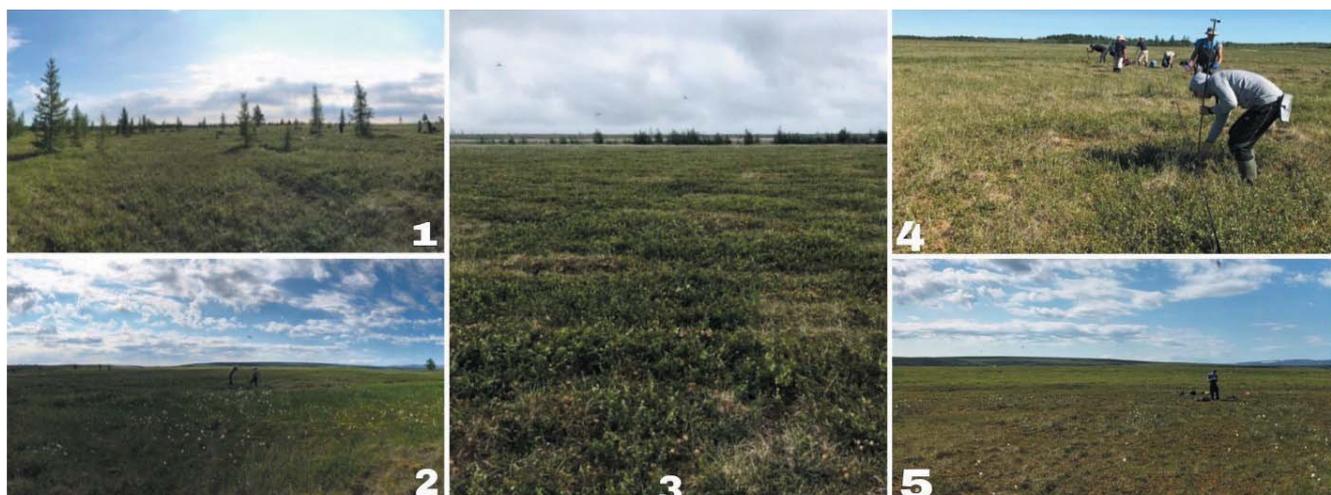


Рис. 4. Типичные ПТК (фото Коровиной Д.И.)

1. Лесотундра.
2. Кустарниково-мохово-осоковая тундра (осложненная ложбинами стока и распученными торфяниками).
3. Полигональная кустарниково-моховая тундра.
4. Мохово-кустарничковая тундра.
5. Типичная моховая тундра.

Первая точка наблюдений располагалась в лесотундре, на пологонаклонной к юго-западу бугорковатой поверхности (1 ПТК). Растительность представлена лиственницей сибирской (*Larix Sibirica*) высотой до 7–10 м, карликовой березой (*Betula Nana*), ивой красивой (*Salix Pulshra*), голубикой (*Vaccinium Uliginosium*), осоками (*Carex*), пушицей влагалищной (*Ereophorum Vaginatam*), сфагнумами (*Sphagnum*). Наличие *Ereophorum Vaginatam* говорит об антропогенном воздействии на территорию.

Можно отметить, что протаивание в данном типе местности увеличивается в сторону юго-запада, что можно объяснить уклоном поверхности в эту

сторону и, как следствие, более сильным увлажнением территории.

На точке был обустроен шурф, которым с поверхности были вскрыты типичные для лесотундры отложения – пылеватые суглинки. На глубине 97 см грунт оказался мёрзлым, в нижнем горизонте прослеживается посткриогенная текстура (следы вытаивания шпиров), а горизонт 18–73 см представлен пылеватым песком, что свидетельствует об интенсивном процессе многократного промерзания-оттаивания (Konishchev, Rogov, 2017).

Второй ПТК представлен кустарниково-мохово-осоковой тундрой. Глубина талого слоя увеличивается почти в два раза в обводненной ложбине стока, заросшей осоками и мощным сфагнумом, по сравнению с распученным торфяником и бугорковатой поверхностью, что связано с теплоизолирующей ролью различных растительных покровов для ложбин стока и распученных торфяников.

Третий ПТК – полигонально-кустарничково-моховая тундра – покрыта карликовой березой (*Betula Nana*), голубикой (*Vaccinium Uliginosium*), пушицей влагилицной (*Eriophorum Vaginatum*), багульником (*Ledum Polustre*), осоками (*Carex*), сфагнумом (*Sphagnum*).

В центре полигонов произрастают в основном карликовая береза и сфагнум, а понижения между ними заняты осоками. Глубина протаивания в среднем составляет около 40–45 см, достигает максимальных значений 70 см в пределах полигонов и минимальной глубины в 32 см в канавках между ними. По результатам поверхностной термометрии, проведенной под покровом из карликовой березы на полигонах и в осоковой растительности в трещинах, было выявлено, что в понижениях между полигонами осоковая растительность поглощает больше тепла, чем на полигонах. В пространстве между полигонами в шурфе была вскрыта морозобойная трещина под среднеразложившимся торфом.

Четвертый ПТК (мохово-кустарничковая тундра) представлен пологой поверхностью с мелкими бугорками, полностью заросшей ёрником (*Betula nana Exilis*), ивой красивой (*Salix Lanata*), морошкой (*Rubus Chamaemorus*) и осоками (*Carex*).

Значения мощности сезонного слоя примерно одинаковы для всей площадки, что свидетельствует об одинаковых условиях протекания процесса протаивания. Немного большее значение глубины оттаивания зафиксировано на бугорках, а наименьшее – на выровненных поверхностях. Температурные измерения в данной точке показали, что на глубине

10 см температура примерно равна +3°C для разных растительных покровов, что также подтверждает однородность условий на площадке.

Пятый ПТК представлен типичной моховой тундрой на пологой мелкобугристой поверхности. Растительность представлена сфагнумом (*Sphagnum*), пушицей влагилицной (*Eriophorum Vaginatum*), багульником (*Ledum Polustre*) и морошкой (*Rubus Chamaemorus*).

Проанализировав данные, полученные в ходе работ, можно сказать, что на всей территории исследования в разных ПТК получена примерно одинаковая глубина оттаивания – около 40–50 см к середине июля 2018 г. Минимальные значения оттаивания были зафиксированы в мохово-кустарничковой тундре. Это объясняется несколькими причинами: во-первых, зимой пологая тундровая поверхность сильно выхолаживается, и летом нужно затратить большое количество тепла на нагревание и фазовый переход воды, во-вторых, при таянии увеличивается влажность пород, для нагрева которых нужно еще большее количество тепла, в-третьих, большую роль играет мохово-торфяной покров, который является одним из лучших теплоизоляторов (табл. 1). Максимальные значения оттаивания приурочены к обводненным ложбинам стока, в которые идет снос снега зимой, что, в свою очередь, уменьшает выхолаживание грунта.

Летом в них аккумулируется влага с прилегающих территорий, которая в совокупности с влажным осоковым покровом является хорошим проводником тепла, что и приводит к большему оттаиванию.

Таблица 1. Теплоизолирующие свойства поверхностных покровов для различных ландшафтных остановок. Таблица характеризует разницу температуры пород на глубине 10 см (T_{10}) и на поверхности (T_0)

ПТК	T_0 , °C	T_{10} , °C	Средняя глубина протаивания, см (середина июля 2018 г.)
Березово-лиственничная редина	17,8	6,5	65
Полигонально-кустарничково-моховая тундра	14,5	5,2	51
Кустарничково-мохово-осоковая тундра	19,0	6,9	57
Мохово-кустарничковая тундра	16,9	2,9	30
Типичная моховая тундра	17,7	5,7	35

Воздействие инженерных сооружений на многолетне-мёрзлые грунты

На 110-м километре железнодорожной линии Обская-Бованенково организован мостовой переход через реку Щучью (рис. 5), строительство которого завершилось в 1988 году. Сооружение состоит из пролетного строения и трубобетонных опор, удерживающих всю конструкцию.

Как известно, в условиях криолитозоны все инженерные сооружения могут подвергаться действию негативных криогенных процессов. В данном регионе отмечено наибольшее распространение морозного пучения и термокарста, на отдельных участках наблюдается морозобойное растрескивание, солифлюкция и термоэрозия.

Изучение температурного режима грунтов оснований мостовых переходов (основной и обходной варианты)

проводилось в скважинах, пробуренных институтом «Ленгипротранс» в процессе изысканий 1986–1988 гг. и ОАО «ПНИИИС» в 2007 г.

Исследованы закономерности геотемпературного поля для правого и левого берегов реки. На правом берегу среднегодовая температура грунтов (t_0) на глубине 18–20 м только в скв. 6 (86), удаленной от уреза реки на 250 м, равнялась –1,45°C. В других скважинах, расположенных ближе к урезу реки, величина t_0 укладывалась в диапазон от минус 0,85 (скв. 199–86) до м –0,1;–0,2°C (скв. 198–86, 4–88). Левый берег реки сложен более охлажденными грунтами. Температура пород близ уреза реки левого берега составляла –1,8°C (скв. 1–87). В двух более удаленных от реки скважинах (скв. 1202–86 и 1203–86) температура равнялась соответственно –3,5 и –3,45°C.



Рис. 5. Охлаждающие установки под мостом через р. Щучью (фото Комовой Н.Н.)

Результаты термокаротажа скважин подтвердили установленную институтом «Ленгипротранс» закономерность: грунты основания правобережных опор моста сложены высокотемпературными, пластичномерзлыми суглинистыми породами, левобережных опор моста – твердомерзлыми суглинистыми породами (рис. 6, 7).

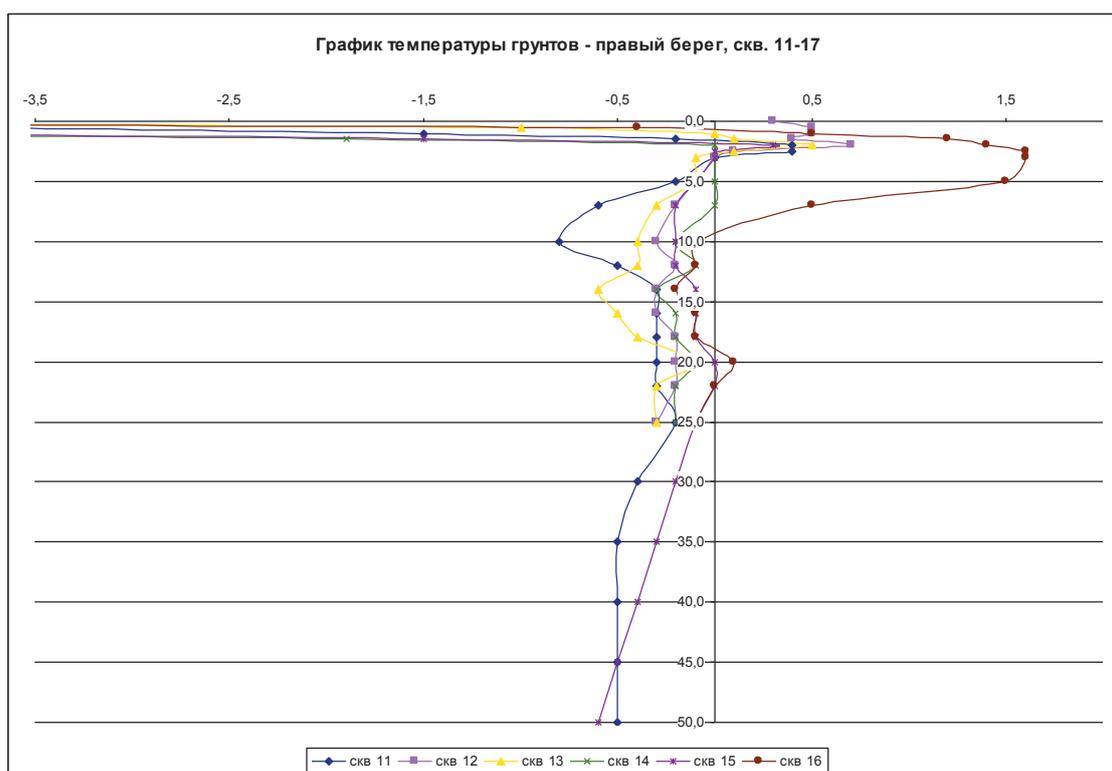


Рис. 6. Температуры грунтов в скважинах ПНИИИС на правом берегу р. Щучьей

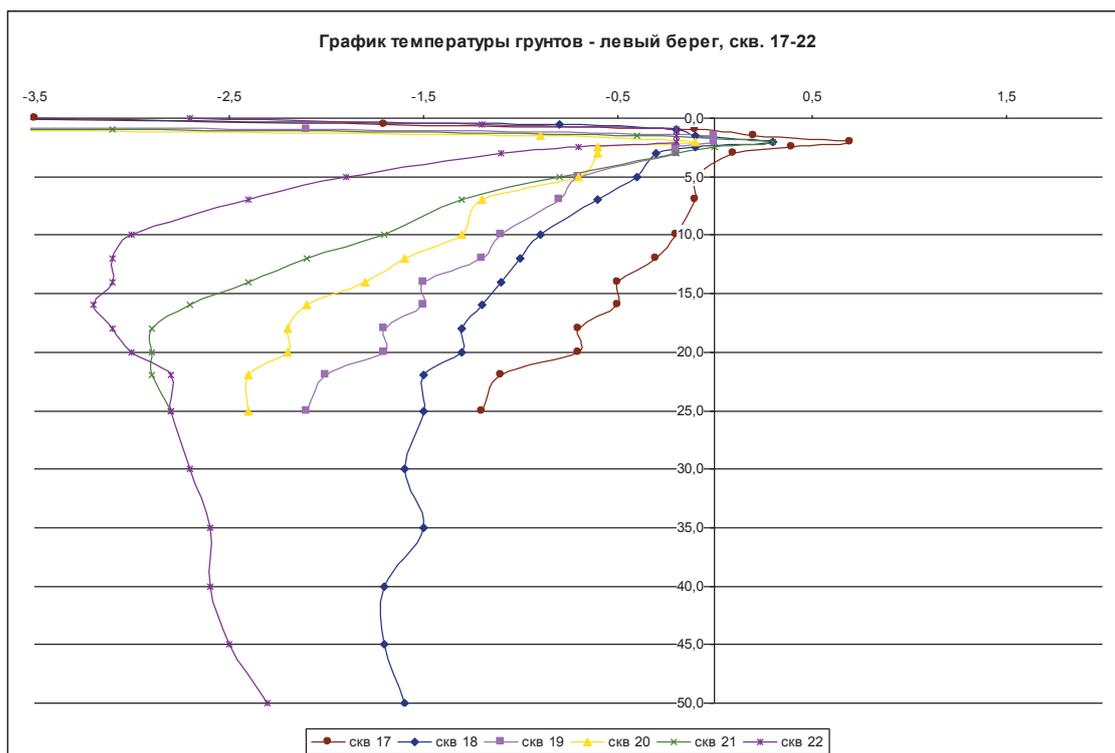


Рис. 7. Температуры грунтов в скважинах ПНИИИС на левом берегу р. Щучьей

Величина средней годовой температуры пород на правом берегу (на глубине 18-20м) находится в диапазоне от $\pm 0^\circ$ до $-0,3^\circ\text{C}$.

Самая высокая температура зафиксирована в скв. 15 и 16, расположенных соответственно в 18 и 10 м от уреза воды в реке. В этих скважинах, также, как и в скважине 4(86) института «Ленгипротранс», зафиксирован межмерзлотный прирусловой талик. Температура минус $0,3^\circ\text{C}$ отмечена в скв. 11, удаленной от уреза воды на 75 м.

Температуры пород на левом берегу находятся в диапазоне от минус $1,4^\circ$ до минус $3,0^\circ$ (см. Рис 7.).

Наблюдается закономерное повышение температуры грунтов по мере удаления от русла реки. Самая высокая температура (минус $1,1^\circ\text{C}$) отмечена в скв. 18, расположенной в 16 м от уреза реки, температура минус $3,0^\circ$ зафиксирована в скв. 22, пробуренной в 78 м от уреза. Сопоставление результатов температурных замеров, полученных 20 лет назад институтом «Ленгипротранс» и в 2007 г. ОАО «ПНИИИС» показывает, что за истекший период времени заметных изменений в геотермических условиях правого берега не произошло. Эта закономерность видна из сравнения геотемпературных кривых, построенных по замерам в близкорасположенных скважинах института «Ленгипротранс» (4-88) и ПНИИИС.

Из графика видно, что температура грунтов на глубине 18-20 м изменилась в пределах, близких к точности измерений, то есть $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Иная картина вырисовывается из сопоставления разновременных геотемпературных кривых, полученных в скважинах, пройденных на левом

берегу. Термозамеры в скважинах ПНИИИС отмечают повсеместное повышение t_0 грунтов левого берега, произошедшее за истекшие 20 лет. Так, в прибрежной части левого берега температура грунтов в скв. 371(86) («Ленгипротранс») была $-2,7^\circ\text{C}$, а в близ расположенной скважине ПНИИИС № 19 $-1,9^\circ\text{C}$.

По данным замеров t_0 в скважинах, более удаленных от берега, также отмечается «потепление» горных пород.

Дать однозначное объяснение установленным особенностям в распределении и динамике геотемпературного поля в породах правого и левого берегов р. Щучьей не представляется возможным без проведения специальных исследований. Причины наблюдаемого явления следует искать в совокупном влиянии естественных и техногенных факторов на формирование термического режима грунтов оснований мостового перехода. К числу первых принадлежит история геологического развития долины р. Щучьей в голоцене и изменения климатических условий в конце XX – начале XXI вв.

Устройство поверхности и геологическое строение верхних горизонтов грунтов (верхний плейстоцен-голоцен) дает основание предполагать, что левый берег р. Щучьей в месте перехода в голоцене не подвергался затоплению во время паводков. С этим обстоятельством, возможно, и связано более значительное охлаждение пород левого берега, нежели правого. Повышение t_0 пород левого берега можно связывать с наблюдающимися в последнее десятилетие потеплением климата. Так, по данным метеостанции Салехард (продолжительность наблюдений более 100

лет) тренд изменения температуры воздуха в 1965–2015г. составляет 0,05°C в год, а повышение средней годовой температуры воздуха в 2005 г. относительно нормы (среднее за 1951–1988 гг.) составила 1,2°C (Павлов, Малкова, 2005). В тоже время, как говорилось выше, температура правого берега за истекшие 20 лет не повысилась. Объяснение данному явлению, возможно, следует искать в «консервирующем» влиянии подсыпки на площадке правобережной части перехода.

Устройство системы парожидкостных термоустановок (см. рис. 5) позволило заметно снизить температуру грунтов и обеспечить надежность устоев моста.

Заключение

В результате проведенных исследований было обнаружено:

1. В районе мостового перехода железной дороги Обская–Бованенково через р. Щучью преобладает 5 основных природно-территориальных комплексов:

лесотундра (березово-лиственничные редины и криволеся с мощным кустарниковым ярусом), кустарниково-мохово-осоковая тундра, полигональная кустарниково-моховая тундра, мохово-кустарничковая тундра, типичная моховая тундра.

2. Максимальные значения мощности слоя сезонного оттаивания наблюдаются в кустарниково-мохово-осоковой тундре и достигают 115 см. Минимальные обнаружены в мохово-кустарничковой тундре и составляют 23 см. В целом вариации мощности СТС в пределах изучаемого участка незначительны, что предопределено равнинностью и литологическим однообразием территории южного Ямала.

3. Наблюдаемое состояние железнодорожного перехода позволяет сделать вывод о правильном выборе проектного решения и об эффективности работы сезонно-охлаждающих устройств и мер по управлению мерзлотной обстановкой при текущих ландшафтно-мерзлотных условиях даже при существующих трендах к повышению температуры приземного воздуха.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-05-60080 «Опасные нивально-гляциальные и криогенные процессы и их влияние на инфраструктуру в Арктике». Авторы выражают признательность Российскому центру Освоения Арктики (г. Салехард) за эффективную помощь в проведении полевых наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Алексеев И.И., Шамилишвили Г.А. Морфометрическая характеристика и функциональное разнообразие почв окрестностей реки Еркута (Южный Ямал) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016, т. 25, № 4, С. 162–166.
2. Вялов С.С., Александров Ю.А., Городецкий С.Э. Термосваи в строительстве на Севере // Л.: Стройиздат, 1984. – 149 с.
3. Гребенец В.И., Рогов В.В. Инженерное мерзлотоведение: Учебное пособие. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2000. – 96 с.
4. Козлов С.И., Тюрин М.А. Применение легких проветриваемых фундаментов под ГПА на компрессорных станциях в сложных геологических условиях Ямальской группы месторождений // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 10. – С. 88–96.
5. Методические рекомендации по применению разных способов охлаждения грунтов оснований опор мостов, возводимых на вечномерзлых грунтах. – М.: ЦНИИС Минтрансстрой СССР, 1984. – 11с.
6. Мягков С.М. География природного риска. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1995. – 213 с.
7. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России: Альбом мелкомасштабных карт. – Новосибирск: Гео, 2005.
8. Свод правил СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83). – М.: Минрегионразвития РФ, 2011. — 155 с.
9. Титков С.Н., Гребенец В.И. Деформации зданий и сооружений при изменении теплового режима вечномерзлых грунтов // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – №. 11. – С. 18-21.
10. Титков С.Н., Гребенец В.И., Сахаров А.А. Особенности геокриологических условий района железнодорожного мостового перехода через р. Щучья на юге Ямала. – Мат-лы междунар. конф. «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». Тюмень, 2008. – С. 283–286.
11. Трофимов В.Т. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. – М.: Наука, 1987. – 214 с.
12. Фирсов Н.Г., Баду Ю.Б., Трофимов В.Т. Южно-Ямальская область // в кн. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова, М.: Недра, 1989. – С. 230–236.
13. Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 542 с.
14. Konishchev V.N., Rogov V.V. CRYOGENIC PROCESSES IN LOESS. GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2017; 10(2), p. 4–14. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-4-14>.