

DOI 10.15593/2409-5125/2018.03.08

УДК 624.139.22

О.В. Третьякова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**ВЛИЯНИЕ СУРОВОГО КЛИМАТА
НА ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ**

Строительство транспортных сооружений в северных районах осложняется особенностями сурового климата, что подтверждается практикой возведения и эксплуатации объектов. В статье проведен обзор накопленного опыта и анализ проблем, возникших при строительстве дорог и тоннельных сооружений. Обозначены негативные проявления сурового климата и эффекты их воздействия на конструкции. Приведены примеры основных повреждений элементов сооружений под влиянием опасных природных процессов. Особое внимание уделено морозному пучению грунта. Рассмотрены существующие методы защиты сооружений от указанных явлений. Сделан вывод, что опыт проектирования, строительства и эксплуатации объектов в холодных районах изучен не в полной мере, не обобщены характерные дефекты, недостаточно проработаны методы защиты. В работе произведен анализ существующих методов защиты и выполнена их систематизация в соответствии с двумя основными подходами. Предложен новый способ защиты, основанный на нейтрализации сил морозного пучения за счет элементов самого сооружения без привлечения дополнительных мероприятий. Способ предполагает использование свай специальной формы. Проведенное исследование позволит повысить уровень безопасности конструкций в суровых климатических условиях, а также снизить стоимость проектирования, строительства и эксплуатации за счет использования специальных конструкций.

Ключевые слова: вечная мерзлота, дефекты, деформации, дорога, дренаж, методы защиты, морозное пучение, повреждения, специальная свая, транспортный тоннель.

Новые возможности для развития российской экономики открывает освоение северных районов страны. Актуальность строительства северных коридоров отмечали Ю.А. Быков, С.И. Герасимов, К.Л. Комаров, В.А. Копыленко, В.М. Круглов и др. [1, 2]. Для обеспечения доступности осваиваемых областей в первую очередь необходимо строительство транспортной инфраструктуры. Эти объекты в числе первых оказываются под влиянием суровых климатических условий, опасных природных процессов. На сегодняшний день на севере страны проложены дороги и тоннельные линии. В практике возведения этих объектов встречены трудно-

Третьякова О.В. Влияние сурового климата на транспортные сооружения и методы их защиты // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3. – С. 95–107. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.08

Tretiakova O.V. Influence of severe climate on transport facilities and methods of their protection. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 3. Pp. 95-107. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.08

сти, связанные с проявлениями сурового климата. Далеко не все применяемые защитные меры дали положительные результаты. Изучение и систематизация накопленного опыта может стать залогом повышения эффективности проектирования и строительства в холодных районах. Проблема влияния на сооружения опасных природных процессов требует дальнейшего их исследования, поиска новых путей решения.

Наиболее подвержены влиянию сурового климата транспортные сооружения, расположенные вблизи дневной поверхности. К ним относятся дороги, тоннельные сооружения мелкого заложения, выполненные открытым и полужакрытым способом. В числе последних порталы участки тоннелей, а также городские транспортные коммуникации: подземные переходы, путепроводы тоннельного типа на транспортных развязках, подземные сооружения скоростного рельсового транспорта, отдельные тоннели метрополитена.

Анализ строительства и эксплуатации указанных сооружений позволил выделить основные факторы, приводящие к появлению повреждений их конструкций: морозное пучение сезонно промерзающих грунтов; выход из строя дренажных устройств; нарушение мерзлого состояния пород при производстве работ и эксплуатации.

Существенное количество повреждений связано с промерзанием грунта и *морозным пучением*, что приводит к нарушению эксплуатационной пригодности сооружений.

Есть примеры построенных и не эксплуатируемых дорог. Причиной этому являются деформации, вызванные морозным пучением. Одним из ярких примеров таких деформаций является дорога Надым – Салехард. При строительстве дороги М8 Москва – Архангельск (1965–1986) уже на второй год строительства были выявлены трещины, вызванные морозным пучением грунта. Трещины в дальнейшем продолжали раскрываться, что зафиксировано в Техническом отчете 5 Управления дорогами Северо-Запада России [3]. Такие коммуникации требуют реконструкции либо сооружения на других территориях с учетом полученного опыта.

Значительное количество проблем, связанных с морозным пучением, выявлено на тоннельных линиях. Б.Е. Славиным разработаны методические рекомендации [4], где автор, основываясь на опыте практического проектирования тоннелей в холодных районах, отразил закономерности влияния промерзающего грунта на тоннели, возводимые закрытым способом [4, 5]. Б.Е. Славин отмечал, что «в тоннеле поверхностью пучащегося грунта является поверхность выработки. В отличие от наземных условий эта поверхность замкнутая. Наличие в тоннеле жесткой обделки, имею-

щей плотный контакт с поверхностью выработки, практически исключает перемещение пучащегося грунта в выработку. Поэтому величина сил морозного пучения за обделкой может достигать значительных величин» [4].

Б.Е. Славиным написаны главы справочного пособия «В помощь строителям БАМа». Отмечено негативное влияние морозного пучения грунта на тоннели Восточно-Сибирской железной дороги. Приведен пример тоннеля, заложенного в увлажненных пылеватых грунтах, где уже в первую зиму эксплуатации были зафиксированы трещины с последующим их раскрытием, а также перемещение стен внутрь тоннеля. Деформации обратного знака на отдельных участках составляли 150–200 мм. Замеренные силы морозного пучения значительно превышали величину горного давления. Цементация пород и установка анкеров не оказали ожидаемого эффекта. Это привело к замене бетонной обделки на чугунные тубинги. По наблюдениям на других участках максимальные силы морозного пучения зафиксированы при заложении тоннелей в водонасыщенных пылеватых суглинках и глинах. Силы пучения вызывали положительные моменты в стенах, отрицательные – в своде и в лотковой части тоннеля [6].

Попытка обобщить опыт строительства тоннелей в северных районах была сделана А.К. Поправко, В.А. Главатских [7]. Авторами отмечены трудности, возникшие при эксплуатации тоннелей на Западно-Сибирской и Красноярской железной дороге. Проблемы связаны с промерзанием прилегающего грунта и дренажных устройств за счет проникновения холодного воздуха внутрь тоннелей. Такие меры, как устройство въездных ворот, утепление и отопление припортальных участков, не принесли ожидаемых результатов. Электрический обогрев лотков приводил к увеличению стоимости эксплуатации тоннелей. «Водоотводные лотки по-прежнему перемерзали, вода выходила на путь, образуя сплошные покровные наледи по основанию тоннеля». Незаглубленные дренажи оказались неэффективными. В качестве причины деформаций и разрушений обделки определено морозное пучение глинистого грунта. Приведен ряд примеров разрушения элементов тоннеля под действием морозного пучения. «В тоннеле № 4 наряду с перемерзанием лотков было отмечено пучение на среднем участке пути, вызвавшее ограничение скорости движения поездов». Произошло «полное обрушение обделки тоннеля № 7». «Постоянное пучение рельсовой колеи – до 50 мм отмечалось в тоннеле № 9...». «В тоннеле № 12 на западном припортальном участке длиной 51 м деформации обделки проявляются в виде перемещения стен внутрь тоннеля... Наибольшие деформации (до 45 мм) обделка претерпевает в стенах

на уровне пят свода». «Весьма интенсивно проходил рост пучения пути в районе восточного припортального участка тоннеля № 13. Если в первый год эксплуатации тоннеля высота горбов пучинных мест не превышала 10 мм, то через десять лет она увеличилась до 40 мм. На пучинных участках наблюдался перекося лотков, а в смотровых колодцах – появление трещин раскрытием до 10 мм». В качестве основных мер защиты определены организация поверхностного водоотвода, повышение качества дренажных систем и гидроизоляции.

В.С. Молчанов в диссертационном исследовании [8] в качестве основных причин повреждений тоннельных конструкций в холодных районах указал промерзание и морозное пучение грунта, нарушение работы дренажных устройств. Анализируя опыт прокладки тоннелей, автор отмечал, что в протяженных тоннелях по температурному режиму можно выделить три зоны приконтурного заобделочного массива: порталные участки, средние участки и «переходные» участки между ними. Отмечено, что подвержены промерзанию порталные и «переходные» участки тоннельных линий, а также вентиляционные на участках воздухозабора, выходящие на поверхность. Обозначено, что охлаждение грунта, вызванное сезонным понижением температуры воздуха, происходит с двух направлений: от дневной поверхности и изнутри тоннеля. Температурный режим тоннеля после ввода в эксплуатацию изменяется: температура окружающего грунт тоннель, как правило, положительная в период строительства, не сохраняется таковой после ввода тоннеля в эксплуатацию. В связи с проникновением атмосферного воздуха на участках выхода сооружения на поверхность, в тоннеле устанавливается отрицательная температура, и примыкающий слой грунта промерзает.

А.Г. Алексеев в рамках работы, проведенной в НИИОСП, привел примеры разрушения заглубленных сооружений от сил морозного пучения и рассмотрел закономерности промерзания грунта вокруг тоннеля мелкого заложения. Автор констатировал, что промерзание происходит в вертикальном и горизонтальном направлениях. При этом формируется «горизонтальное давление морозного пучения, возникающее при промерзании грунта в горизонтальном направлении – через стену подземного сооружения и горизонтальное давление, возникающее при промерзании грунта в вертикальном направлении с поверхности земли» [9].

Примером проявления влияния промерзающего грунта на тоннели является опыт строительства в поселке Кольцово (Новосибирск, 2016 г.) [10]. Прокладка тоннеля производилась круглогодично. В период сезонного оттаивания защитный экран из труб дал осадку на 10 см, что указывает на со-

ответствующую деформацию грунта при промерзании. При производстве работ были выполнены конструктивные мероприятия, исключающие негативное влияние пучения на конструкции тоннеля. Однако подобные деформации грунта при его сезонном промерзании носят ежегодный характер и могут в конечном итоге вызвать разрушение конструкций.

Влияние сурового климата на тоннели в части сил морозного пучения грунта рассматривала в одноименной работе О.Р. Голли [11, 12]. Автор предложила два пути решения вопроса: использование гибкой, податливой или жесткой обделки.

Исследователи Китая делают попытки изучить механизм влияния морозного пучения на тоннели и предлагают методы защиты конструкций от этого негативного фактора [13].

Промерзание грунта и его морозное пучение приводит также к *нарушению работы дренажных устройств*, что наносит существенный вред сооружениям. Силы морозного пучения оказывают давление на конструкции, вызывая трещины и повреждения. Деформации обделки возможны также от давления льда, которое возникает при замерзании воды в водоотводных лотках и дренажных прорезях, при некачественной гидроизоляции. Примером может служить участок Дуссе-Алинского тоннеля, заполненный льдом по причине нарушения дренажа и гидроизоляции и другие сооружения.

Еще одной причиной нарушения целостности тоннелей, возводимых в вечной мерзлоте, может быть *потеря несущей способности грунтов при их оттаивании* в процессе производстве работ и эксплуатации.

В приведенных исследованиях и примерах повреждений тоннелей от влияния сурового климата упомянуты также *методы защиты*, использованные при строительстве. К ним относятся устройство въездных ворот, утепление и отопление припортальных участков для предотвращения проникновения холодного воздуха внутрь тоннеля и промерзания примыкающих слоев грунта; цементация пород и установка анкеров для уменьшения деформаций обделки; электрообогрев и утепление водоотводных лотков для сохранения работоспособности дренажей, замена железобетонной обделки на чугунные тубинги. Авторы рассмотренных работ дали рекомендации по расчету обделок, повышению качества дренажей, применению рациональных форм обделок кругового очертания и подковообразной формы с обратным сводом [6].

Анализ методов защиты позволил систематизировать их согласно двум основным подходам (рис. 1).

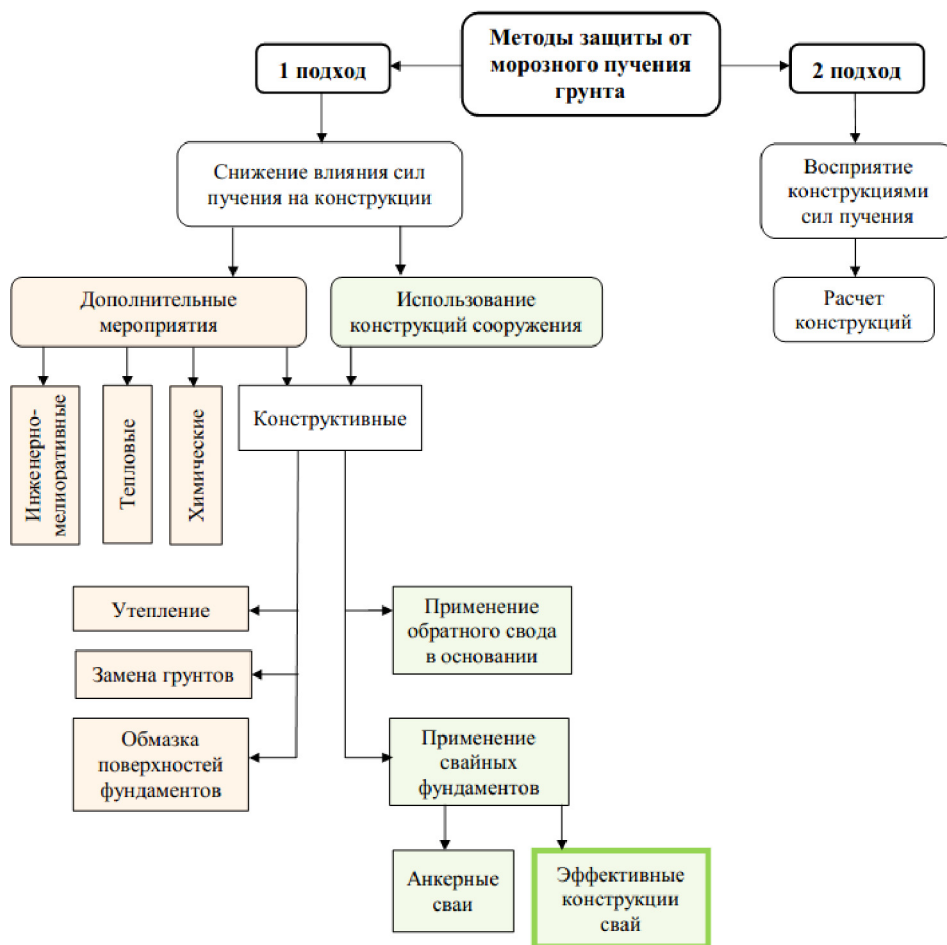


Рис. 1. Существующие методы защиты сооружений от морозного пучения грунта

Первый подход предполагает меры по снижению влияния опасного природного фактора на конструкции.

Второй подход заключается в соответствующем расчете сооружений, способных работать в условиях морозного пучения без разрушения. Р.Ш. Абжалимов предложил метод расчета легких зданий на морозоопасном основании, представленном в виде слоя твердомерзлого грунта (ТСГ) [14]. О.Р. Голли разработала интегральные закономерности для определения сил морозного пучения [12]. В.Д. Карлов рассмотрел возможность расчета и проектирования сооружений на сезонно промерзающих грунтах с учетом прогнозируемого влияния морозного пучения [15]. М.В. Матвеева использовала для исследования пучинистых грунтов

численный метод [16]. Рекомендации по расчету и проектированию обделок тоннелей, способных воспринимать силы пучения, написаны Б.С. Славиным [4]. Г.Н. Полянкин обозначил перспективность метода конечных элементов для расчета обделок тоннелей в условиях морозного пучения грунта [17]. Для протяженных транспортных тоннелей интересен вероятностный подход к оценке влияния морозного пучения на конструкции Г.К. Щепоткина [18]. Он определил зависимость деформаций конструкций от величины неравномерного пучения, которая носит вероятностный характер. Расчетом параметров процесса пучения занимались также зарубежные исследователи [19–21]. Таким образом, на сегодняшний день создано значительное количество расчетно-теоретических разработок, однако для практического проектирования больший интерес представляет снижение и нейтрализация сил пучения, нежели расчетное восприятие этих сил конструкциями, приводящее к повышенной материалоемкости.

В этом смысле многообещающим является первый подход. Для снижения влияния морозного пучения используются инженерно-мелиоративные, тепловые, химические, конструктивные методы. Большинство из них предполагают использование дополнительных элементов и мероприятий, что не рационально. Заслуживают внимания методы, основанные на использовании эффективных конструкций сооружения.

Предложен способ защиты тоннеля мелкого заложения от морозного пучения грунта с использованием специальных свай, эффективных в части сопротивления выдергивающим касательным силам морозного пучения [22]. Способ заключается в следующем. Стены, колонны и дорожные плиты тоннеля опираются на свайные фундаменты. При этом дорожные плиты освобождаются от влияния нормальных сил морозного пучения под днищем тоннеля за счет дренирующей подсыпки. Таким образом, все вертикальные постоянные и временные нагрузки, а также усилия от морозного пучения грунта, действующие на тоннель, воспринимают специальные сваи, устойчивые к действию сил пучения. Расчетно-конструктивная схема специальной сваи показана на рис. 2, где обозначены выдергивающие силы: T_f – касательные силы морозного пучения, действующие на участке сваи, расположенном в мерзлом грунте; силы, удерживающие сваю в грунте: P – сумма внешней постоянной нагрузки и собственного веса сваи; F_i – силы трения i -го слоя грунта на боковой поверхности сваи в талой зоне; S_f – силы морозного пучения, направленные по нормали к боковой поверхности сваи; $S_f \sin \alpha$ – составляющая нормальных сил пучения в пределах наклонного участка сваи в мерзлом грунте.

Основная идея специальной сваи – получение силовых факторов, частично или полностью нейтрализующих силы морозного пучения за счет статического потенциала сваи. Достигается это за счет создания обратного уклона поверхности в верхней части сваи.

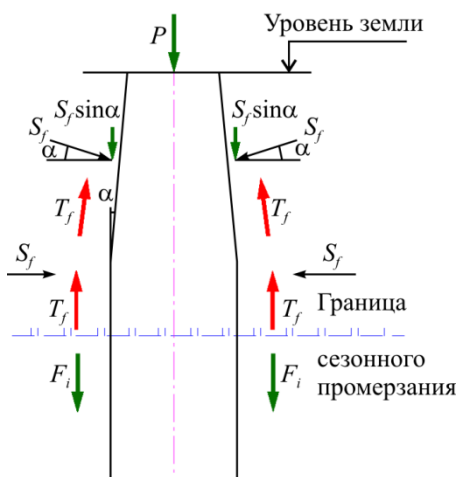


Рис. 2. Расчетно-конструктивная схема специальной сваи в пучинистом грунте

В пределах наклонной поверхности возникает вертикальная составляющая сил морозного пучения, действующих по нормали к боковой поверхности сваи. Эта удерживающая составляющая направлена от дневной поверхности вниз и частично компенсирует касательные силы пучения, направленные к дневной поверхности и вызывающие подъем сваи (см. рис. 2).

Кроме того, в свае с уклоном части поверхности при действии касательных сил морозного пучения развивается реактивный отпор грунта, также предотвращающий подъем сваи. При выдергивании сваи с обратным уклоном поверхности некоторый объем грунта над ней в виде усеченного конуса выпирания перемещается вверх вместе со свайей. Этот фактор также оказывает удерживающее влияние на сваю при выдергивании. При установке специальных свай в два ряда силы пучения, действующие нормально к поверхности соседних свай, создают «арочный эффект».

Разработано несколько конструктивных решений тоннеля мелкого заложения с применением специальных свай. Одно из таких решений показано на рис. 3.

Модель специальной сваи защищена патентом РФ [23]. Сформулирована математическая модель взаимодействия специальной сваи с пучинистым грунтом. На основе модели разработан автоматизированный расчетный модуль (АРМ) для определения геометрических параметров сваи с визуализацией результатов расчета в 3-D модели. АРМ подтвержден авторским свидетельством [24].

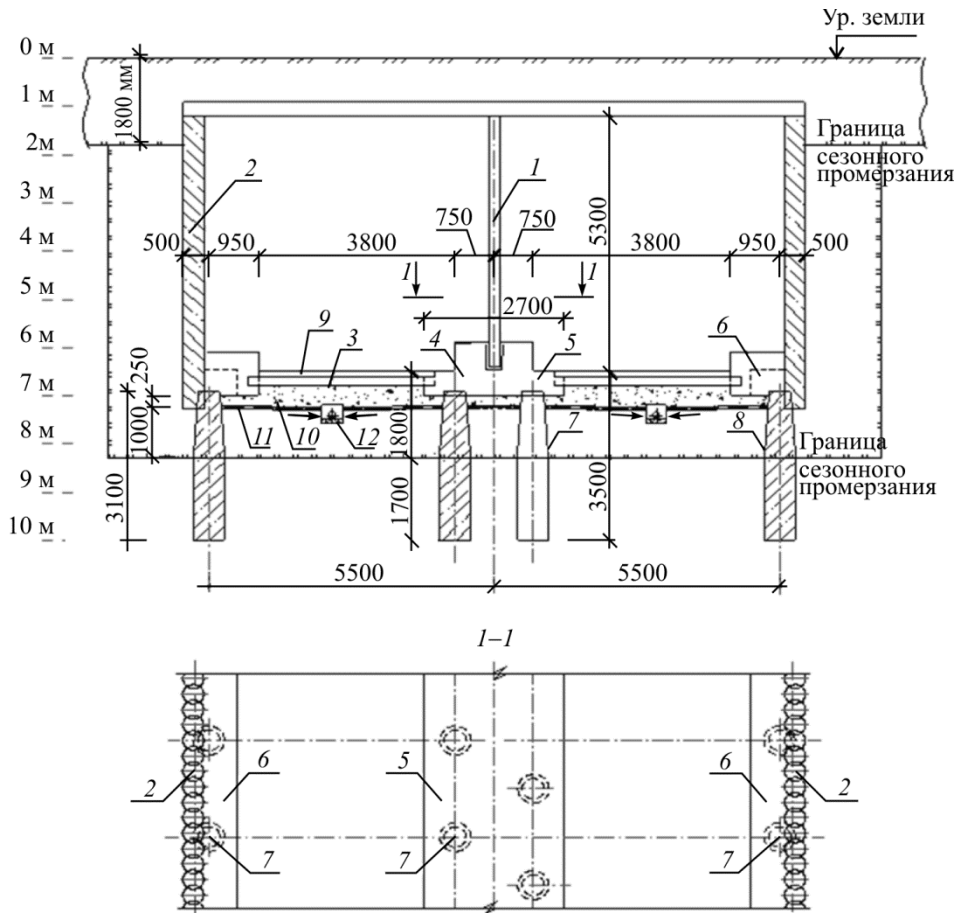


Рис. 3. Конструктивное решение тоннеля мелкого заложения с применением специальных свай: 1 – колонна; 2 – стена тоннеля из буросекущихся свай; 3 – дорожные плиты; 4 – разделительная полоса; 5 – свайный ростверк среднего ряда; 6 – свайный ростверк крайнего ряда; 7 – свая с обратным уклоном части поверхности, расположенная в среднем ряду; 8 – свая с обратным уклоном части поверхности в крайнем ряду; 9 – дорожное покрытие; 10 – подсыпка из песчано-гравийной смеси; 11 – георешетка; 12 – дренажная труба

Выводы. Таким образом, практика строительства и эксплуатации транспортных сооружений в северных районах позволила обозначить значительное влияние сурового климата на конструкции. Проявлениями суровых климатических условий служат сезонное промерзание и морозное пучение грунта, вечная мерзлота. Эффектами воздействия этих опасных природных процессов являются прогибы и деформации, трещины в конструкциях, неравномерный подъем элементов сооружений, что приводит к потере несущей способности и эксплуатационной пригодности.

Существующий опыт показал, что защитные меры, связанные с дополнительными мероприятиями, недостаточно рациональны. Заслуживают внимания методы, основанные на использовании эффективных конструкций сооружения. В данной работе предложено использование специальных свай для нейтрализации влияния сил морозного пучения на тоннели мелкозаложенного.

Продолжением исследования является применение специальных свай для опор мостовых сооружений.

Тема применения эффективных конструкций для защиты от морозного пучения требует дальнейшего развития, направленного на повышение практической применимости полученных результатов. Такие решения обещают быть экономически целесообразными.

Библиографический список

1. О стратегии транспортного освоения Сибири / С.И. Герасимов, К.Л. Комаров, Е.Б. Кибалов, С.А. Максимов, В.А. Никонов, В.Г. Соколов, В.И. Старостенко, Р.З. Талипов, В.Н. Тасун; Сиб. гос. ин-т путей сообщения. – Новосибирск, 2003. – 40 с.
2. Северные и восточные районы России – важнейший полигон расширения железных дорог страны в XXI веке / В.А. Копыленко, Ю.А. Быков, В.М. Круглов, И.В. Турбин, В.В. Космин // Транспортное строительство. – 2008. – № 4. – С. 2–4.
3. SCR-E/ 110623/C/SV/RU Технический отчет 5. Калибровка HDM-4. Управление дорогами Северо-Запада России. – Taxis services DG IA, European Commission, 2002. – 65 с.
4. Методические рекомендации по учету проявления морозного пучения грунтов при проектировании транспортных тоннелей / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т трансп. стр-ва. – М., 1976. – 43 с.
5. Славин Б.Е., Молчанов В.С. Воздействие сурового климата на конструкции тоннелей метрополитенов // Проблемы железнодорожного транспорта Сибири: тез. докл. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию НИИЖТ. – Новосибирск, 1992. – Ч. 2. – С. 5–6.
6. Тоннели. Справочно-методическое пособие в помощь строителям БАМа / под ред. Д.И. Федорова. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
7. Поправко А.К., Главатских В.А. Особенности эксплуатации железнодорожных тоннелей в суровых климатических условиях / НИИЖТ. – Новосибирск, 1983. – 41 с.
8. Молчанов В.С. Совершенствование методов тепловой защиты железнодорожных тоннелей и метрополитенов в районах с суровым климатом: дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1998. – 129 с.
9. Алексеев А.Г. Определение горизонтального давления грунта на подпорные стены при сезонном промерзании-оттаивании: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2006. – 190 с.
10. Молчанов В.С. Корректировка проектных решений в ходе строительства автодорожного путепровода тоннельного типа на пересечении путей действующей железной дороги // Наука и социум: материалы всерос. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2016. – С. 149–154.
11. Голли О.Р. Некоторые условия проектирования и строительства транспортных туннелей в условиях сурового климата // Реконструкция городов и геотехническое строительство: [интернет-журнал]. – 2002. – № 5. – URL: <http://georeconstruction.net/journals/05/18/18.htm> (дата обращения: 08.10.2015).
12. Голли О.Р. Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве: автореф. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2000. – 45 с.
13. Zhe Ji. Classification, Causes of Tunnel Frost Damages in Gold Region and Several New Technologies to Prevent Them // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 170–173. – P. 1504–1510. – URL: <http://www.scientific.net/AMM.170-173.1504> (accessed 25 May 2015).
14. Абжалимов Р.Ш. Принципы расчет малоэтажных зданий и подземных сооружений на пучинистых грунтовых основаниях // Геотехника. – 2009. – № 1. – С. 25–33.

15. Карлов В.Д. Сезоннопромерзающие грунты как основания сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1998. – 349 с.
16. Матвеева М.В. Разработка алгоритма численного исследования морозного пучения грунтов: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Якутск, 2009. – 15 с.
17. Полянкин Г.Н. Учет проявления морозного пучения в тоннелях // Вопросы надежности и долговечности искусственных сооружений железнодорожного транспорта: межвуз. сб. науч. тр. / НИИЖТ. – Новосибирск, 1990. – С. 16–18.
18. Щепоткин Г.Н. Усиление подшпального основания бесстыкового пути / УрГУПС. – Екатеринбург, 2008. – 150 с.
19. Numerical simulation of frost heave with coupled water freezing, temperature and stress fields in tunnel excavation / Ping Yang, Jie-ming Ke, J.G. Wang, Y.K. Chow, Fen-bin Zhu // *Computers and Geotechnics*. – 2006. – 33. – P. 330–340.
20. Zhang S., Zhu Q. A study of the calculation of frost heaving // *Proc. Fourth International Conference on Permafrost*. – Fairbanks, Alaska, 1983. – P. 1479–1483.
21. Zhou J. Z., Li D.Q. Numerical analysis of coupled water, heat and stress in saturated freezing soil // *Gold Regions Science and Technology*. – 2012. – Vol. 72. – P. 43–49.
22. Третьякова О.В., Юшков Б.С. Сваи с обратным конусом для транспортных сооружений, устраиваемых в сезоннопромерзающих грунтах // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2017. – № 3. – С. 18–21.
23. Буронабивная свая: пат. 168119 U1 РФ: МПК E02D 5/34 (2006.01) / Третьякова О.В. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ПНИПУ. – № 2016131617; заявл. 01.08.2016; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2.
24. Расчет и конструирование сваи с верхним обратным конусом: свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2017662309 РФ / Третьякова О.В., Третьяков А.В. – № 2017619332; заявл. 18.09.2017.

References

1. Gerasimov S.I., K.L. Komarov, E.B. Kibalov, S.A. Maksimov, V.A. Nikonov, V.G. Sokolov, V.I. Starostenko, R.Z. Talipov, V.N. Tasun. O strategii transportnogo osvoeniya Sibiri [About strategy of Siberia transport development]. Novosibirsk: SGUPS, 2003, 40 s.
2. Kopylenko V.A., Yu.A. Bykov, V.M. Kruglov, I.V. Turbin, V.V. Kosmin Severnye i Vostochnye raiony Rossii – vazhneishii poligon rasshireniya zheleznikh dorog strany v XXI veke [Northern and eastern districts of Russia are most important territory for railways expanding in the XXI century], *Transportnoe stroitel'stvo*, 2008, no 4. pp. 2-4.
3. SCR-E/ 110623/C/SV/RU Tekhnicheskii Otchet 5. Kalibrovka HDM-4. Upravlenie dorogami Severo-Zapada Rossii. Tacis services DG IA, European Commission, 2002, 65s.
4. Metodicheskie rekomendatsii po uchetu proyavleniya moroznogo pucheniya gruntov pri proektirovani transportnykh tonnelei [Recommended Practice for allowance of the frost heave in the transport tunnels designing]. Moscow: Vsesoyuznyi nauchno-issledovatel'skii institut transportnogo stroitel'stva, 1976, 43 s.
5. Slavin B.E., V.S. Molchanov Vozdeistvie surovogo klimata na konstruksii tonnelei metropolitenov [Exposure to the harsh climate in the construction of subway tunnels]. posvyashchennoi 60 – letiyu NIIZhT. Ch. 2 / NIIZhT. *Tezisy dokladov nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 60-letiyu NIIZhT. Vol. 2.* «Problemy zheleznodorozhnogo transporta Sibiri». Novosibirsk, 1992, pp. 5-6.
6. Tonneli. Spravochno-metodicheskoe posobie v pomoshch' stroitelyam BAMA [Tunnels. Reference method book in aid of the designer of Baikal Amur railway], pod red. D.I. Fedorova, Moscow: Transport, 1979, 176 s.
7. Popravko A.K., Glavatskikh V.A. Osobennosti ekspluatatsii zheleznodorozhnykh tonnelei v surovnykh klimaticheskikh usloviyakh [Features of railway tunnel service under inclement climate] Novosibirsk: NIIZhT, 1983, 41 s.
8. Molchanov V.S. Sovershenstvovanie metodov teplovoi zashchity zheleznodorozhnykh tonnelei i metropolitenov v raionakh s surovym klimatom: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improvements of techniques for

railway tunnel heat insulation in regions with severe climatic conditions: thesis for obtaining the academic step Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 1998, 129 p.

9. Alekseev A.G. Opredelenie gorizontalnogo davleniya grunta na podpornye steny pri sezonnom promerzanii-otтаivanii: dis. ... d-ra. tekhn. nauk [Determination of frost heave horizontal pressure on retaining walls under seasonal freeze-thaw. Thesis of doctor's degree dissertation]. Moscow, 2006, 190 p.

10. Molchanov V.S. Korrektirovka proektnykh reshenii v khode stroitel'stva avtodorozhnogo puteprovoda tonnel'nogo tipa na peresechenii putei deistvuyushchei zheleznoi dorogi [Correction of project in process of construction the road tunnel at operated railway crossing]. *Materialy vs Rossiiskoi nauchno-prakt. konf. "Nauka i sotsium"*. Novosibirsk, 2016, pp.149 – 154.

11. Golli O.R. Nekotorye usloviya proektirovaniya i stroitel'stva transportnykh tunnelei v usloviyakh surovogo klimata [Some conditions of the design and construction of transport tunnels in harsh climate]. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 5, available at: <http://www.georec.spb.ru/journals/05/18/18.htm> (accessed 08.10.15).

12. Golli O.R. Integral'nye zakonomernosti moroznogo pucheniya gruntov i ikh ispol'zovanie pri reshenii inzhenernykh zadach v stroitel'stve: avtoref. dis. ... d-ra. tekhn. nauk [Integral mechanism of frost heaving of soils and application of them in the performance of the engineering challenges in building. Abstract thesis of doctor's degree dissertation]. Saint Petersburg, 2000, 45 p.

13. Zhe Ji, Kangcheng Lu, Chaochao Ma. Classification, Causes of Tunnel Frost Damages in Gold Region and Several New Technologies to Prevent Them. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, Vol. 170-173, pp. 1504-1510.

14. Abzhalimov R.Sh. Printsipy raschet maloetazhnykh zdaniy i podzemnykh sooruzhenii na puchinykh gruntovykh osnovaniyakh [Calculation principles of low-storey buildings and underground structures on heaving soil foundations]. *Geotekhnika*, 2009, no 1, pp. 25–33.

15. Karlov V.D. Sezonnno promerzayushchie grunty kak osnovaniya sooruzhenii: dis. ... d-ra. tekhn. nauk [The seasonally freezing soils as the base of facilities. Thesis of doctor's degree dissertation] Saint Petersburg, 1998, 349 p.

16. Matveeva M.V. Razrabotka algoritma chislennogo issledovaniya moroznogo pucheniya gruntov: avtoref. dis. ... kand. fiziko-matematicheskikh. nauk [Logical design of frost heave numerical simulation: abstract thesis for obtaining the academic step Candidate of Technical Sciences]. Yakutsk, 2009, 15 p.

17. Polyankin G.N. Uchet proyavleniya moroznogo pucheniya v tonnyakh [Accounting of frost heave effects in tunnel]. *Mezhvuz. sb. nauch. tr. NIIZhT "Voprosy nadezhnosti i dolgovechnosti iskusstvennykh sooruzhenii zheleznodorozhnogo transporta"*. Novosibirsk, 1990, pp. 16-18.

18. Shchepotkin G.N. Usilenie podshpal'nogo osnovaniya besстыkovogo puti [Strengthening of under shear base of continuous welded rail]. Ekaterinburg: UrGUPS, 2008, 150 s.

19. Ping Yang, Jie-ming Ke, J.G. Wang, Y.K. Chow, Fen-bin Zhu. Numerical simulation of frost heave with coupled water freezing, temperature and stress fields in tunnel excavation. *Computers and Geotechnics*, 2006, no. 33, pp. 330-340.

20. Zhang, S., Zhu, Q. A study of the calculation of frost heaving. Proc. Fourth International Conference on Permafrost. Fairbanks, Alaska, 1983. – Pp.1479-1483.

21. Zhou J. Z., Li D.Q. Numerical analysis of coupled water, heat and stress in saturated freezing soil. *Gold Regions Science and Technology*. 2012. Vol. 72. Pp. 43–49.

22. Tret'yakova O.V. Yushkov B.S. Svai s obratnym konusom dlya transportnykh sooruzhenii, ustraivaemykh v sezonno promerzayushchikh gruntakh [Inverted-cone pile for transport constructions in seasonally freezing soil]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2017, Vol. 54, no. 3, pp.18-21.

23. Tret'yakova O.V. Buronabivnaya svaya [Bore pile]. Patent RU 168119 U1 RF, MPK E02D 5/34 (2006.01). Zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU PNIPU. No 2016131617; zayavl. 01.08.2016; opubl. 18.01.2017, Byul. No 2.

24. Tret'yakova O.V., Tret'yakov A.V. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM Raschet i konstruirovaniye svai s verkhnim obratnym konusom [Calculation and detailing of inverted-cone pile], No 2017662309; zayavka No 2017619332, 18.09.2017.

Получено 7.05.2018

O. Tretiakova

INFLUENCE OF SEVERE CLIMATE ON TRANSPORT FACILITIES AND METHODS OF THEIR PROTECTION

The construction of transport facilities in the northern regions is complicated by the characteristics of the severe climate, which is confirmed by the practice of erection and operation of facilities. In the article a review of the accumulated experience and an analysis of the problems that have arisen in the construction of roads and tunnel structures are given. Negative manifestations of severe climate and effects of its impact on facilities are indicated. Examples of the main damage to structural elements under the influence of dangerous natural processes are given. Particular attention is paid to frost soil heaving. Existing methods of protecting structures from these phenomena are considered. It is concluded that the experience of designing, constructing and operating facilities in cold regions has not been fully studied, characteristic defects have not been generalized, and protection methods have not been sufficiently developed. In the paper the existing methods of protection are analyzed and systematized according to two main approaches. A new method of protection is proposed, based on neutralizing the forces of frost heaving at the expense of the elements of the structure itself without involving additional measures. The method involves the use of piles of a special shape. The conducted research will allow increasing the safety level of structures in severe climatic conditions, as well as reducing the cost of design, construction and operation through the use of special structures.

Keywords: permafrost, defects, deformations, roadway, drainage, protection measures, frost heaving, damages, special pile, transport tunnel.

Третьякова Ольга Викторовна (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги и мосты», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 19а, e-mail: Olga_wsw@mail.ru).

Tretiakova Olga (Perm, Russian Federation) – Senior lector of «Motorways and bridges» Department, Perm National Research Polytechnic University (614013, Perm, Academician Korolev str., 19a, e-mail: Olga_wsw@mail.ru).