Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру в Арктической зоне и на территориях распространения вечной мерзлоты



С. Д. Воронцова,
первый вице-президент ГК «Транспортная интеграция»

На территории России темпы изменения климата превышают среднеглобальные масштабы. Особую озабоченность вызывает воздействие климатических изменений на транспортную инфраструктуру в районах распространения вечной мерзлоты, поскольку климатообусловленное уменьшение несущей способности грунтов и развитие деструктивных геоморфологических процессов могут привести (а в ряде регионов уже привели) к нарушению эксплуатационных условий и разрушению транспортных объектов.

Комплексные оценки природных и социально-экономических последствий изменения климата в Арктической зоне (*рис. 1*) и в районах распространения многолетней (вечной) мерзлоты на территории России содержатся в работах, подготовленных Росгидрометом. В них Арктика выделена в особый регион, где изменения климата происходят наиболее быстро **[1, 2]**.

Тенденции изменения климата в Арктике и на территориях распространения многолетней (вечной) мерзлоты

По данным Росгидромета, за период 1976–2015 гг. среднегодовая температура на территории России увеличивалась со скоростью 0,45 °С за 10 лет. Наибольшие изменения произошли в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, особенно в северных частях этих регионов, расположенных в криолитозоне (на территории, полностью или частично покрытой многолетнемерзлыми грунтами), где потепление составило до 0,8 °С за 10 лет, а на Таймыре — до 1 °С за 10 лет.

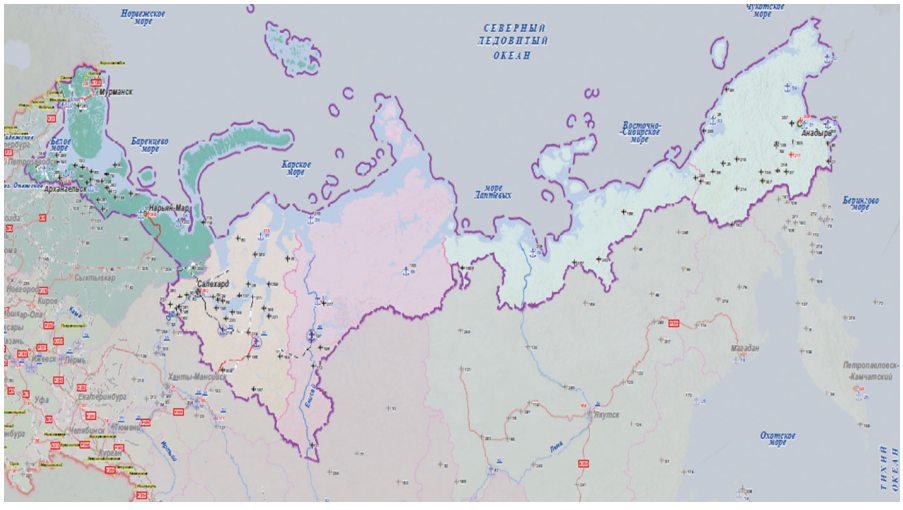


Рис. 1. Границы Арктической зоны РФ

Наиболее существенные сезонные изменения температуры отмечались весной (средний по России тренд 0,59 °С за 10 лет) и осенью (0,48 °С за 10 лет). Весенние и осенние значения температуры наиболее сильно повышались в северных районах Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, где тренд составляет от 0,8 до 1 °С за 10 лет, а в отдельных очагах превышает 1 °С за 10 лет. Таким образом, самое интенсивное потепление воздуха наблюдается в переходные сезоны (весна и осень). Потепление воздуха весной в совокупности с умеренным повышением температуры воздуха летом создает предпосылки для увеличения глубины сезонного оттаивания многолетней (вечной) мерзлоты.

В России преобладает умеренное увеличение годовой суммы осадков со средней интенсивностью 2 % за 10 лет, лишь в немногих регионах Сибири и Дальнего Востока скорость роста превышает 5 % за 10 лет. В зимний период наблюдается уменьшение осадков в Якутии, на Чукотке и в Средней Сибири,

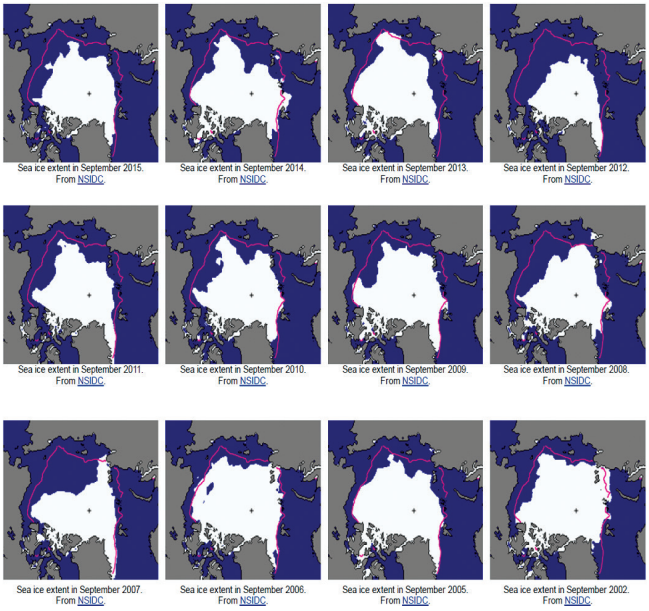


Рис. 2. Минимальная область распространения морских полярных льдов в Северном полушарии по данным спутниковых наблюдений NOAA в 2002–2015 гг. (спутниковые данные NOAA http://www.arctic.noaa.gov/detect/ice-seaice.shtml)

а также вдоль всего Арктического побережья к востоку от Ямала. Весной во всех регионах имеет место наибольший рост осадков со средней скоростью 5,8 % за 10 лет, в Восточной Сибири — до 15–20 % за 10 лет.

В криолитозоне увеличение осадков происходит преимущественно в летний сезон, что приводит к увеличению влажности и теплопроводности грунта, а также к более глубокому сезонному протаиванию многолетнемерзлых грунтов.

За последние годы некоторое уменьшение зимних осадков в средних широтах отмечается в Восточной Сибири и на Чукотке, небольшое увеличение — на севере Западной Сибири. Спутниковые данные отражают значительные изменения снежного покрова, площадь распространения которого на севере России в весенний период быстро сокращается. Продолжительность залегания снежного покрова уменьшается в среднем по России на 1,84 дн. за 10 лет, на Чукотке и на севере Камчатки — до 7,48 дн. за 10 лет.

Продолжительность снежного периода и высота снежного покрова определяют условия эксплуатации временных зимних дорог (зимников), по которым осуществляется доставка грузов автотранспортом во многие поселки и города Арктической зоны России. Увеличение высоты снежного покрова ведет к росту затрат на расчистку автомобильных и железных дорог, взлетно-посадочных полос и других объектов транспортной инфраструктуры. Уменьшение высоты снежного покрова способствует ослаблению его теплоизолирующего влияния в холодный период года и повышению температуры грунта, что ведет к оттаиванию вечной мерзлоты.

В результате многочисленных наблюдений выявлены значительные изменения элементов природной среды в Арктической зоне РФ и в области распространения многолетнемерзлых грунтов. В совокупности эти данные подтверждают тенденции глобального изменения климата.

За последние годы четко прослеживается тенденция уменьшения площади распространения морских полярных льдов. Изменения конфигурации морских льдов в период, когда они достигают наименьшей площади в Арктическом бассейне, показано на *рис. 2*. Прямое следствие этих изменений — увеличение безледного периода и улучшение условий навигации вдоль трассы Северного морского пути (СМП). Согласно прогнозам, к концу XXI в. навигационный период по трассе СМП увеличится до четырех — шести месяцев, что позволит сократить расходы на ледокольное сопровождение судов **[3, 4]**.

Увеличение продолжительности безледного периода ведет к усилению береговой эрозии. Льдистые морские берега, протяженность которых составляет более трети побережья Восточной Сибири, отступают со скоростью от 0,5 до 25 м/год. В последние десятилетия на побережье моря Лаптевых скорость разрушения и отступания берегов увеличилась в 1,5–2 раза по сравнению со среднемноголетней нормой.

Влияние разрушительных процессов испытывают на себе населенные пункты, объекты транспортной инфраструктуры и средства навигационного обеспечения, расположенные на побережье северных морей.

Вследствие потепления климата, увеличения глубины сезонного оттаивания прибрежных участков и сокращения площади морских льдов возрастает штормовая активность, играющая главную роль в разрушении берегов **[5]**. Быстро развиваются овраги и провалы, интенсифицируются оползни, разрушаются склоны даже на большом удалении от берега. Эти процессы, сопутствующие отступанию берегов, весьма опасны для транспортной инфраструктуры: они охватывают значительные площади, распространяясь с высокой скоростью вглубь суши.

Область распространения многолетней (вечной) мерзлоты в России занимает около 11,3 млн км^2, что составляет почти 65 % территории страны (*рис. 3*). На этой территории проживают около шести миллионов человек (почти 4 % населения РФ).

К многолетнемерзлым грунтам, которые называют вечной мерзлотой, относят грунты, находящиеся ниже уровня нулевых отметок, если их температура в течение двух или более лет остается отрицательной. В России многолетнемерзлые грунты имеют сплошное распространение на площади 7 млн км^2, прерывистое — 1,8, островное и редкоостровное — на площади 2,5 млн км^2.

По данным многолетних наблюдений, температура многолетнемерзлых грунтов повсеместно увеличивается, за последние годы на многих участках — на 1,5–2 °С. На севере европейской территории России площадь приповерхностной вечной мерзлоты сокращается, а в южных районах островного распространения она полностью оттаяла.

Для России состояние многолетнемерзлых грунтов имеет важное значение. Это связано с несколькими причинами:

1) безопасность и надежность эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, расположенных на территории вечной мерзлоты, напрямую зависят от несущей способности многолетнемерзлых грунтов, которая уменьшается с ростом температуры (оттаивание вечной

мерзлоты приводит к частичному или полному разрушению объектов транспортной инфраструктуры);

2) многочисленные деструктивные геоморфологические процессы, развивающиеся при оттаивании многолетнемерзлых грунтов (оползни, береговая эрозия, термокарстовые просадки и др.), ведут к изменению гидрологического режима, заболачиванию почвы, гибели леса;

3) в результате таяния многолетнемерзлых грунтов усиливается эмиссия парниковых газов, особенно метана, что негативно влияет на изменение климата.

Влияние климатических изменений на транспортную инфраструктуру

На территории Арктической зоны РФ и зоны распространения многолетней (вечной) мерзлоты расположено множество инфраструктурных объектов, играющих важную роль в транспортной системе страны: морские и речные порты, аэропорты, автомобильные и железные дороги. В связи с климатическими изменениями и их последствиями, в частности с оттаиванием многолетней мерзлоты, значительная часть объектов транспортной инфраструктуры, расположенных на указанных территориях, подвержена риску полной или частичной утраты функциональности.

Через морские порты Арктического и Дальневосточного бассейнов проходит треть экспортно-импортных и каботажных грузов России. В 2016 г. через морские порты этих бассейнов было перевалено 235,2 млн т грузов. Операторы морских терминалов Арктического бассейна перегрузили в 2016 г. 49,7 млн т грузов (+40,6 % по сравнению с 2015 г.). Увеличился объем перевалки сухогрузов до 26,6 млн т (+6,6 %) и наливных грузов до 23,1 млн т (в 2,2 раза). Наиболее высокими темпами вырос грузооборот порта Мурманск — до 33,4 млн т (в 1,5 раза) и порта Варандей — до 8 млн т (+21,6 %).

В морских портах Дальневосточного бассейна грузооборот увеличился до 185,5 млн т (+8,3 %), из них сухогрузов — до 111 млн т (+13 %), наливных грузов — до 74,5 млн т (+2,1 %). Грузооборот порта Восточный вырос до 68,5 млн т (+5,2 %), Ванино — до 30,2 млн т (+11,6 %), Находка — до 23,3 млн т (+9,4 %), Пригородное — 16,4 млн т (+2,4 %), Владивосток — до 14,3 млн т (+11,2 %), Де-Кастри — до 11,5 млн.т (+10,4 %), Посьет — до 8,2 млн т (+26,6 %).



Рис. 3. Границы зоны распространения многолетней (вечной) мерзлоты в РФ

Основные направления деятельности портов в арктической зоне и областях, находящихся под влиянием вечной мерзлоты, — это транспортировка добываемых на территории России углеводородов, лесоматериалов, горнорудной продукции, бункеровка топлива, доставка генеральных и проектных грузов. Северные и восточные порты отличают сложные условия их эксплуатации и малый период навигации. Северные порты играют важную роль в социально-экономическом развитии арктических регионов страны, так как через них осуществляется северный завоз.

За последние годы наблюдается рост грузопотоков по трассе СМП. Это необходимо для обеспечения деятельности многих крупных российских компаний: Норильского горно-металлургического комбината, ПАО «Газпром», ПАО «НК „Роснефть“», ПАО «Лукойл», ПАО «НОВАТЭК», ЗАО «Росшельф» и др.

Основные порты СМП, относящиеся к арктическому бассейну, — Игарка, Дудинка, Диксон, Тикси, Певек, Провидения. В акватории СМП грузовые операции осуществляются помимо морских портов в 19 портопунктах, расположенных на побережье и островах. В акватории СМП расположен порт Сабетта, который обеспечит эффективное освоение Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения. Рост объемов перевозок по трассе СПМ связан с этапами освоения Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения и вовлечения в разработку углеводородного сырья месторождений Ямала.

Сегодня к основным сдерживающим факторам интенсивного использования СМП относится сложная ледовая обстановка. Продолжительная и суровая зима при коротком и холодном лете обусловливает большую ледовитость арктических морей, что служит главным препятствием для прохода судов на многих участках трассы СМП. Наиболее трудные условия плавания складываются в районах больших скоплений тяжелых льдов (Таймырского и Айонского ледовых массивов), которые до конца не тают даже в самые теплые месяцы. На таких участках проводка судов возможна только с помощью ледоколов.

На внутренних водных путях, расположенных в Арктической зоне РФ и на территории распространения многолетней (вечной) мерзлоты, насчитывается 61 речной порт, шесть из них входят в Арктическую зону РФ.

На территории вечной мерзлоты РФ находится около 20 аэропортов, из них семь — в Арктической зоне. Относительно авиационных перевозок отмечается следующее:

- недостаточное развитие аэропортов тех арктических городов и поселков, где авиация является основным видом транспорта;
- высокий процент износа взлетно-посадочных полос, светосигнального оборудования, наземной и авиационной техники;

• нехватка парка малой авиации, отсутствие серийного выпуска самолетов малого размера, соответствующих спросу на перевозки и условиям эксплуатации в арктических районах.

Для сохранения сети аэродромов региональных и местных воздушных линий в Арктике созданы семь федеральных казенных предприятий, выполняющих функции заказчика по реконструкции аэродромов. В перспективе основными арктическими авиаузлами для магистральных и международных линий станут аэропорты Мурманска, Архангельска и Анадыря. Важное значение для региональных перевозок будут иметь аэропорты Нарьян-Мара, Салехарда, Норильска, Хатанги, Тикси и Певека. Получит развитие сеть малых аэропортов с взлетно-посадочными полосами для грузопассажирских перевозок в районы Арктики.

В Арктической зоне РФ и на территориях многолетней мерзлоты расположены железнодорожные магистрали, которые обеспечивают доставку грузов в северные регионы и в морские порты для экспорта углеводородов и горнорудной продукции, а также осуществляют пассажирские перевозки. В перспективе планируется развитие сети железных дорог в северных регионах за счет реализации проектов «Белкомур» и «Северный широтный ход», а также строительства в Дальневосточном федеральном округе нового участка железной дороги до Магадана для транспортировки грузов в морские порты Охотского моря (*рис. 4*).

Протяженность автомобильных дорог в рассматриваемых зонах составляет 79 тыс. км, из которых на долю федеральных дорог приходится 8 %. На федеральных автомобильных дорогах (Р-21 «Кола», Р-297 «Амур», А-331 «Вилюй», А-360 «Лена», А-381 подъезд к аэропорту г. Нарьян-Мара и др.) имеются отдельные участки, проходящие по территориям распространения многолетней мерзлоты прерывистого и островного типов. Эти участки автомобильных дорог и мостовые переходы на них наиболее уязвимы при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с климатическими изменениями.

В перспективе планируется развитие сети автомобильных дорог за счет создания новых автодорожных коридоров «Северо-Запад — Сибирь» и «Северо-Восток — Полярный Урал», строительства ответвлений транспортного коридора «Запад — Восток», строительства новых автодорог в рамках реализации проекта «Промышленный Урал — Полярный Урал» (*рис. 5*).



Рис. 4. Приоритетные проекты развития железных дорог в Арктической зоне РФ и на территориях многолетней мерзлоты

На объекты транспортной инфраструктуры оказывают влияние как значения климатических факторов (температуры воздуха, количества осадков, числа переходов температуры через точку замерзания, экстремально низких и высоких значений температуры и др.), так и деградация многолетнемерзлых грунтов, обусловленная изменением климата.

Опасные геокриологические процессы в криолитозоне — термокарст, термоэрозия, образование наледей, пучение, курумы, массовые смещения оттаивающего грунта на склонах. Основные воздействия опасных геокриологических процессов на объекты транспортной инфраструктуры можно разделить на три группы:

1) давление на воспринимающую поверхность транспортных сооружений, обусловленное подвижками крупных массивов грунта (оползнями, курумами и др.);

2) формирование пустот в грунте, что ведет к существенному изменению напряженно-деформированного состояния транспортного объекта или его фундамента (термокарст, эрозионные процессы, карст и др.);

3) нарушение полотна автомобильных и железных дорог, покрытий аэродромов, инфраструктуры морских и речных портов (наледи, затопление и др.) **[6, 7]**.

В последние десятилетия площадь распространения деструктивных криогенных процессов расширяется. Это выражается в разрушении дорожных покрытий и коммуникаций, деформациях

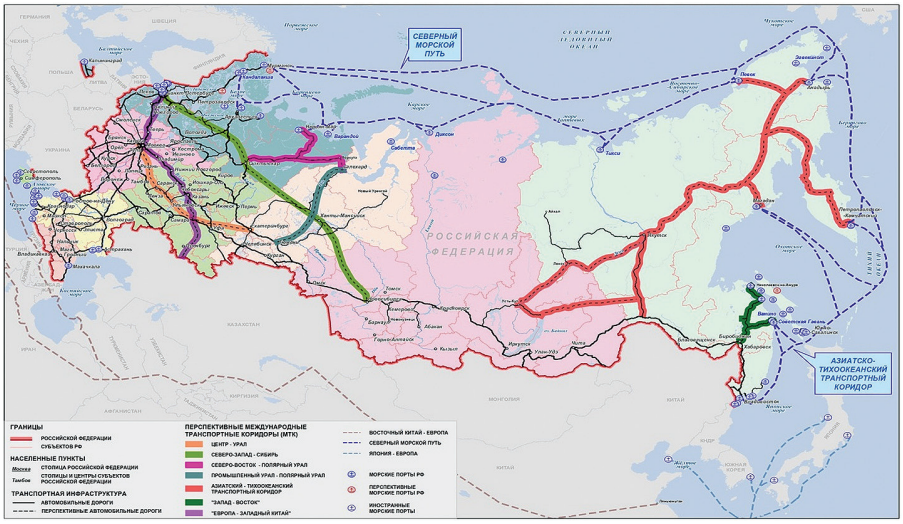


Рис. 5. Перспективы развития сети автомобильных дорог в Арктической зоне РФ и на территории вечной мерзлоты

насыпей, фундаментов сооружений, в увеличении зон заболачивания.

Возможные последствия климатических изменений для рассматриваемых объектов транспортной инфраструктуры приведены в *таблице*.

Приведенные в таблице опасные природные процессы служат причиной рисков полной или частичной утраты функциональности объектов транспортной инфраструктуры в связи с прогнозируемыми климатическими изменениями и их последствиями, в частности с оттаиванием многолетней (вечной) мерзлоты. Вечномерзлые грунты обладают высокой несущей способностью, но при оттаивании она снижается, вследствие высокой суммарной влажности происходят осадки и просадки, появляются участки земли, которые сдвигаются или затапливаются. При таянии вечной мерзлоты значительно возрастает береговая эрозия, которая усиливается из-за сокращения длительности ледового периода и связанного с этим удлинения периода волнового воздействия на берега арктических морей. Это представляет угрозу для портов и подходов к ним.

В условиях глобального потепления ледовые условия плавания по СМП улучшились, появилась возможность плавания по высокоширотным трассам к северу от таких арктических архипелагов, как Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова. Од-

Возможные последствия изменения климата для функционирования объектов транспортной инфраструктуры

Изменения	Последствия		
	Автомобильные дороги	Железные дороги	Порты, ВПП и аэропорты
Температура			
- Повышение значений средней температуры; - периоды аномальной жары / засухи; - учащение смены теплых / холодных дней	Тепловая нагрузка на покрытие / износ; колейность; термическое повреждение мостов; более частые оползни в горах; сокращение сроков эксплуатации; рост потребности в охлаждении (при перевозке пассажиров / грузов) и, следовательно, в топливе; сокращение интервалов между ремонтными работами; увеличение расходов на строительные и ремонтные работы; изменение спроса	Деформация путей; перегрев / сбои в работе объектов инфраструктуры и подвижного состава; пожары на откосах и отказ оборудования; проблемы с электроникой и сигнальными устройствами; ограничение скорости; сокращение срока эксплуатации оборудования; рост потребностей в охлаждении / топливе; сокращение интервалов между ремонтными работами; рост расходов на строительные и ремонтные работы; изменение спроса	Повреждение инфраструктуры, оборудования и грузов; рост энергопотребления для охлаждения грузов; понижение уровня воды и ограничение внутренней навигации; уменьшение полезной нагрузки авиационного транспорта; потепление приведет к снижению расходов на уборку снега / льда и удлинению периода строительных работ
- Деградация и таяние вечной мерзлоты; - сокращение площади арктических льдов	Деформация дорог; сокращение количества дней, пригодных для перевозок; нестабильность склонов и разрушение насыпей; ограничение грузовых и пассажирских перевозок	Повреждение путей; ненадежность склонов и разрушение насыпей; ограничения грузовых и пассажирских перевозок	Нарушение инфраструктуры морских портов и аэропортов; увеличение срока навигации по СМП; сокращение протяженности маршрутов на СМП / сокращение расходов на топливо при увеличении расходов на вспомогательное обслуживание
Осадки			
Изменение интенсивности / частоты экстремальных осадков (наводнения и засухи)	Затопление; учащение оползней, случаев разрушения склонов и земляного полотна и отказов оборудования; воздействие на узловые объекты (например, на мосты); ухудшение видимости, приводящее к увеличению числа аварий; учащение схода грязевых потоков; задержки; изменение спроса	Затопление, размывание мостовых опор, проблемы с дренажными системами и туннелями; оползни; затопление подземных объектов; разрушение насыпей / земляных сооружений; эксплуатационные проблемы; задержки, изменение спроса	Затопление наземной инфраструктуры; повреждение грузов и оборудования; ограничение навигации на внутренних водных путях вследствие засухи
Ветры/грозы			
Изменение частоты и интенсивности явлений	Разрушение ограждений; ДТП	Повреждение объектов инфраструктуры и контактных сетей; скачки напряжения; перебои в эксплуатации	Проблемы с навигацией и швартовкой в портах
Уровень моря / штормы			
Изменение среднего уровня моря; усиление разрушительной силы штормов / штормовых нагонов; изменение силы и направления волн	Повышение опасности затопления и эрозии прибрежных районов с причинением ущерба автомобильным дорогам; временное затопление, невозможность использования дорог во время штормовых нагонов	Подмыв мостовых опор, повреждение объектов инфраструктуры / контактных сетей, ограничение / перебои в эксплуатации железных дорог, затопление насыпей / земляных сооружений	Повреждение инфраструктуры / грузов в результате затопления и усиления волн; увеличение расходов на строительство и обслуживание портов; заиление портовых / судоходных каналов; воздействие на ключевые транзитные пункты (например, на Панамский канал); перемещение людей / предприятий, страховые проблемы

нако вследствие разрушения островных ледников участилось появление айсбергов, что увеличивает риск для морских перевозок и добычи углеводородов на арктическом шельфе.

Приведем прогнозируемые изменения свойств ледяного покрова в Арктической зоне РФ:

• средняя толщина ледяного покрова уменьшится, главным образом из-за исчезновения двухлетних льдов;

• вследствие незначительного опреснения верхнего слоя океана несущественно изменятся прочностные свойства морского льда;

• несколько возрастет вероятность сильных сжатий льда, особенно в прибрежных зонах и ледяных массивах из-за усиления ветров;

• увеличится торосистость ледяного покрова вследствие усиления ветровой активности;

• сохранится вероятность появления айсбергов в северных частях арктических морей.

Таким образом, по трассам СМП изменится пространственное распределение льдов, они будут отступать в северные районы Арктики в летний период, что сопряжено с расширением временных рамок навигационного периода. Это сделает более доступными для плавания высокоширотные трассы и будет способствовать созданию условий для круглогодичной навигации на трассах СМП.

Климатические и ледовые условия на трассе СМП в значительной степени определяют:

• проектные решения для новых транспортных и ледокольных судов;

• выбор оптимальных судоходных трасс, обеспечивающих безопасное и наименее затратное мореплавание;

• сохранение контроля РФ над плаванием судов в пределах своей экономической зоны (в соответствии со ст. 234 Конвенции ООН по морскому праву), позволяющего в определенной степени компенсировать издержки на содержание российских атомных ледоколов за счет ледового сбора.

При проектировании арктических транспортных судов необходимо учитывать возможные изменения климата.

Сохранение положительного тренда температуры в вековом масштабе изменения климата следует рассматривать как фактор, требующий учета при проектировании объектов транспортной инфраструктуры. Для береговых сооружений важны такие прогнозы, как повышение уровня моря, рост числа и интенсивности штормов, увеличение продолжительности безледного периода в прибрежной зоне, что будет способствовать более интенсивному разрушению берегов и угрожать инфраструктуре.

К 2030 г. ожидается рост на 15–20 % опасных природных явлений и рисков потери функциональности рассматриваемых объектов в связи с климатическими изменениями **[8–10]**. Высокая степень риска отмечается для морских и речных портов, аэродромов, отдельных участков железных и автомобильных дорог, расположенных в Арктической зоне РФ. Для обеспечения устойчивого и надежного функционирования этих объектов необходимы непрерывный мониторинг геологических и гидрометеорологических процессов в зоне их тяготения, контроль динамики их воздействия на элементы транспортных сооружений.

Основной способ адаптации транспортных сооружений к прогнозируемым климатическим изменениям — термостабилизация грунтов в криолитозоне с применением различных технических решений: вентиляционных каналов в насыпях, термосифонов, винтовых свай, изолирующих слоев, оригинальных конструкций свайно-эстакадных мостовых и других транспортных сооружений с различными пролетными строениями на винтовых свайных фундаментах с системой аккумуляции холода и др. **[11–15]**. Они различаются:

• по принципу работы: испарительные (двухфазные) и конвективные (газовые, жидкостные и газожидкостные);

• типу используемого теплоносителя (хладагента): газовые (воздушные), жидкостные, парожидкостные (двухфазные), газожидкостные (эффект газлифта);

• материалу изготовления: из углеродистой и нержавеющей стали и из алюминиевых сплавов, в отдельных случаях используются полиэтиленовые трубы;

• конструктивным особенностям.

Возможные сценарии адаптации объектов транспортной инфраструктуры в части морских и речных портов к прогнозируемым климатическим изменениям сводятся к инженерным и техническим решениям: проведению мероприятий по берегоукреплению, расчистке и защите дна акваторий и подходных каналов, созданию условий для искусственной мелиорации и др. Такие мероприятия достаточно дороги, они требуют проведения инженерных изысканий, разработки проектной документации, использования специальной техники. Минимизировать затраты на меры адаптации к климатическим изменениям можно, если использовать современные методы мониторинга и прогнозирования климатических изменений, в частности с помощью автоматизированных систем контроля технического состояния сооружений, их планово-высотного положения, термометрических измерений.

Рекомендации

На основе анализа влияния климатических изменений на функционирование объектов транспортной инфраструктуры и изучения опыта строительства транспортных сооружений в криолитозоне сформулирован ряд рекомендаций.

Прогнозировать климатические изменения для оценки надежности функционирования объектов транспортной инфраструктуры в условиях многолетней мерзлоты необходимо с учетом влияния на климат выделения метана в результате таяния многолетнемерзлых грунтов на заболоченных территориях, выделения аэрозольных частиц при сгорании тех или иных видов углеводородного топлива, других опасных природных явлений (наводнений, повышения уровня воды в реках, карстовых явлений, просадочных процессов и др.).

Новые конструкции и технологии адаптации объектов транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям необходимо апробировать на стационарных экспериментальных участках, в пределах специально оборудованных полигонов, расположенных на территории строительства транспортных сооружений.

Необходимо разработать показатели учета климатических изменений при оценке риска потерь функциональности объектов транспортной инфраструктуры в результате опасных природных явлений и использовать их в технико-экономических расчетах при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных объектов.

Необходимо разработать и принять следующие нормативные документы:

• Методические рекомендации Минтранса России «Учет климатиче-



ФОТО: PXHERE.COM

ских изменений при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных сооружений в зоне многолетней (вечной) мерзлоты» с отдельными рекомендациями по видам транспорта;

• Методические рекомендации по количественной оценке рисков потери функциональности транспортных сооружений в связи с прогнозируемыми климатическими изменениями и их последствиями, в частности с оттаиванием многолетней (вечной) мерзлоты;

• Свод правил «Учет климатических изменений при проектировании транспортных сооружений в зоне вечной мерзлоты».

Необходимо разработать региональные пакеты нормативных документов, регламентирующих вопросы природно-климатического районирования, особенностей проектирования, строительства, эксплуатации и утилизации транспортных сооружений в зоне многолетней (вечной) мерзлоты.

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Планета, 2014. 58 с.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год / Росгидромет. М., 2016 68 с.
3. Гомонов К.Г., Осокина К. А., Сорокин Л. В. Экономические последствия от изменения уровня Мирового океана для прибрежной инфраструктуры // Вестн. РУДН. Сер. Экономика. 2015. № 3.
4. Данилов А.И. Обеспечение гидрометеорологической безопасности освоения и использования морских месторождений // Материалы IV Всерос. морской науч.-практич. конф. «Стратегия морской деятельности России и экономика природопользования в Арктике». Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. С. 146–147.
5. AMAP: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). Oslo, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2011.
6. Анисимов О. А. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. М.: Гринпис, 2010. 44 с.
7. Анисимов О. А., Кокорев В. А. Климат в арктической зоне России: анализ современных изменений и модельные проекции на XXI век // Вестн. МГУ. 2016. № 1. С. 61–69.
8. Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу (резюме доклада) // Труды Главной геофиз. обсерватории им. А. И. Воейкова. 2011. № 563. С. 7–59.
9. Порфирьев Б., Катцов В. Последствия изменений климата в России и адаптация к ним (оценка и прогноз) // Вопр. экономики. 2011. № 11. С. 94–108.
10. Pinnegar J., Watt T., Kennedy K. Climate Change Risk Assessment for the Martine and Fisheries Sector. UK Climate Change Risk, 2012.
11. Зеленина Л. И., Федькушова С. И. Арктические льды: прогноз и адаптация // Инноватика. 2014. № 2.
12. Зеленина Л., Антипин А. Льды Арктики: мониторинг и меры адаптации // Север. 2015. № 18. С. 122.
13. Селин В. С., Васильев В. В. Влияние возможного потепления климата на хозяйственную деятельность в Арктике // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2009. С. 27.
14. Хрусталев Л. Н., Пармузин С. Ю., Емельянова Л. В. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата: моногр. М.: Университетская книга, 2011. 260 с.
15. Цатуров Ю. С., Клепиков А. В. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: Экология и экономика. 2012. № 4 (8). С. 76–818.