

DOI 10.58351/2949-2041.2025.18.1.007

Гусарова Мирослава Сергеевна, к.э.н, доц. каф. УСиЖКХ,
Тюменский индустриальный университет, РФ, г. Тюмень
Gusarova Miroslava Sergeevna, Tyumen Industrial University

Перминова Екатерина Александровна, студент, кафедра Строительство,
Тюменский индустриальный университет, РФ, г. Тюмень
Perminova Ekaterina Aleksandrovna, Tyumen Industrial University

ПОСЛЕДСТВИЯ ДЕГРАДАЦИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТИ И ГАЗА CONSEQUENCES OF PERMAFROST DEGRADATION FOR OIL AND GAS PIPELINE TRANSPORTATION

Аннотация: В соответствии с актуальными научными данными, примерно две трети (65%) территории Российской Федерации первоначально покрывалась вечной мерзлотой. Однако, анализируя изменения за последние 15 лет, наблюдается сокращение этой территории до 35%. Это сокращение представляет серьезную угрозу для инфраструктурных объектов, разработанных с учетом условий вечной мерзлоты, о чем свидетельствуют статистические данные. Среди особо подверженных риску регионов выделяются районы Сибири и Дальнего Востока России, где критически важные объекты, такие как магистральные нефтепроводы «ВСТО» и «Заполярье – Пурпе – Саяны», могут столкнуться с серьезными проблемами в своей работе. В 2010 году Российская Федерация через Гидрометеорологический центр представила доклад, освещающий текущее состояние экологических и климатических изменений в стране, подчеркивая динамику изменений в распределении вечной мерзлоты.

Abstract: According to current scientific data, approximately two-thirds (65%) of the territory of the Russian Federation was originally covered by permafrost. However, analyzing the changes over the past 15 years, a reduction of up to 35% of this territory is observed. This reduction poses a serious threat to infrastructure facilities designed to take into account permafrost conditions, as evidenced by statistical data. Among the regions particularly at risk are areas of Siberia and the Russian Far East, where critical facilities such as the ESPO and Zapolyarye-Purpe-Samotlor oil pipelines may face serious problems in their operation. In 2010, the Russian Federation, through the Hydrometeorological Center, presented a report covering the current state of environmental and climate change in the country, emphasizing the dynamics of changes in the distribution of permafrost.

Ключевые слова: вечная мерзлота, трубопроводный транспорт нефти и газа, трансформация зон вечной мерзлоты, деградация, тенденции климатических изменений.

Keywords: permafrost, pipeline transportation of oil and gas, transformation of permafrost zones, degradation, climate change trends.

В рамках научного исследования была выполнена проекция трансформации зон вечной мерзлоты, основываясь на пяти разработанных сценариях, которые получили признание на глобальном уровне в научном сообществе. Рисунок 1 демонстрирует прогнозируемые изменения в распределении сплошных, прерванных и островных зон вечной мерзлоты на временной оси к 2030, 2050 и 2080 годам соответственно [1]. Исходя из представленных данных, прогнозируется, что к 2030 году общая площадь зон вечной мерзлоты сократится на 10-12%, в то время как к 2050 году ожидается сокращение на 15-20% относительно исходной площади, зафиксированной в ходе исследования в период с 2007 по 2010 год. Модели, лежащие в основе этих прогнозов деградации границ вечной мерзлоты, были разработаны ведущими научными центрами Соединенных Штатов Америки, Великобритании, Канады и Германии и получили наименования CGCM2, CSM-1 соответственно.



Исследуемые модели климатических изменений, включая ECHAM4/OPYC3, GFDL-R30c и HadCM3, разработаны с учетом сценария B2, который предполагает определенный уровень эмиссии парниковых газов.

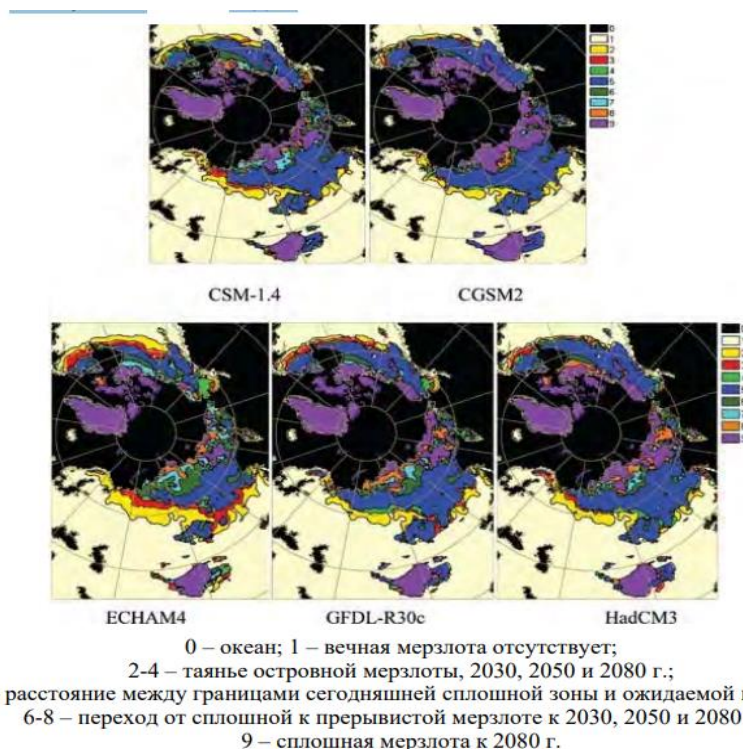


Рис. 1 – Деградация вечной мерзлоты к 2030, 2050 и 2080 годам

В анализируемых моделях наблюдается значительное сокращение области непрерывной вечной мерзлоты, что демонстрируется в пункте, обозначенном номером 5. Это сокращение, прогнозируемое к 2080 году, подчеркивает необходимость учитывать постепенный характер данного процесса. В контексте использования трубопроводного метода для транспортировки углеводородов через регион вечной мерзлоты, критическим аспектом выступает снижение грузоподъемности почвы в результате ее деградации. Особое внимание следует уделить верхней прокладке труб, которая в таких условиях предпочтительнее, однако сталкивается с проблемами адекватного закрепления в нестабильном грунте, ведущим к риску недопустимых отклонений от заложенного проектом положения. В ситуациях, когда трубопровод прокладывается под землей, деградация мерзлоты может вызвать изменения в глубине траншеи или привести к деформации самого трубопровода [2].

В контексте идентифицированной проблематики, методика криогенной консервации почвы вкуче с интеграцией терморегулирующих структурных элементов была адаптирована как промежуточное решение. Этот подход находит своё применение в рамках эксплуатации нефтепроводов, принадлежащих корпорации АО «Транснефть», в частности на маршрутах «Заполярье – Пурпе – Саяны» и «Восточная Сибирь – Тихий океан». Аналитические данные использования указанной технологии подтверждают её эффективность лишь в краткосрочной перспективе, учитывая, что процесс деградации почвы продолжается вследствие её постепенного оттаивания.

Дополнительно, текущие тенденции климатических изменений и трансформация зон вечной мерзлоты оказывают деструктивное влияние на стабильность и безопасность функционирования объектов, представляющих повышенную опасность. Это обстоятельство требует пристального внимания к разработке и внедрению более устойчивых технологических решений в целях обеспечения долгосрочной эксплуатационной надёжности данных инфраструктурных объектов.

В течение последних двух десятилетий, анализ статистических данных демонстрирует, что в сфере транспортировки углеводородов ежегодно регистрируется до 35 тысяч инцидентов, связанных с авариями. Изучение причин этих инцидентов выявило, что приблизительно каждый пятый случай (21%) происходит в результате механических повреждений и изменений в структурной целостности оборудования, включая, но, не ограничиваясь, трубопроводами, хранилищами и насосными станциями. В качестве заметного примера можно привести инцидент с Уренгойским трубопроводом, который зафиксировал изменение своего положения на 1,5 метра от исходной проекции за короткий период в один год, что указывает на значительные риски, связанные с вечной мерзлотой. Экономические последствия таких аварий ощутимы, поскольку ежегодные финансовые потери, затраты на ремонт и предотвращение последствий варьируются до 55 миллиардов рублей, подчеркивая критическую необходимость в усилении мер безопасности и мониторинга в данной области [3].

Анализируя изменения температуры почвы вместе с фиксацией причин несчастных случаев на основных артериях нефтепровода, можно с уверенностью сделать вывод о том, что процесс ухудшения состояния вечно замёрзшего грунта уже не является исключительно теоретической предпосылкой для будущих исследований, а обретает статус непосредственной актуальности, требующей незамедлительного вмешательства. В связи с этим, проектирование и последующая эксплуатация нефтепроводов должны подвергаться адаптации к меняющимся климатическим условиям, что предполагает модификацию нормативных документов в сторону их оптимизации для обеспечения надежного функционирования транспортных систем в условиях трансформирующейся криосферы.

Список литературы:

1. Маилян Л. Д. Оценка показателей качества в строительстве / Л. Д. Маилян, Н. О. Сизен // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2024. – Т. 21. № 3 (97). – С. 464-474.
2. Сергеев В. В. Анализ нормативных документов в сфере оценки технического состояния объектов строительства / В. В. Сергеев, К. А. Артемов, Д. В. Саранова // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса. Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2022. – С. 573-575.
3. Комков Н. И. Методические и организационные основы управления развитием компаний / Н. И. Комков, Н. Н. Бондарева, В. С. Романцов и др./ ООО Издательский дом «Наука». – Москва, 2015.

