

Панченкова Яна Игоревна, магистрант,
Самарский государственный технический университет

Васильев Андрей Витальевич, профессор,
Самарский государственный технический университет

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПРОКЛАДКЕ НЕФТЕПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Аннотация. Статья посвящена комплексному анализу экологических рисков, возникающих при строительстве магистральных нефте- и газопроводов в условиях Крайнего Севера. Рассмотрены геокриологические, гидрологические и биоценологические аспекты воздействия объектов трубопроводного транспорта на арктические экосистемы.

Ключевые слова: Экологические риски, Крайний Север, магистральные трубопроводы, разлив нефти, ледовый покров.

Разработка нефтегазовых месторождений связана с необходимостью создания сети магистральных трубопроводов в неблагоприятных природно-климатических условиях. Магистральные трубопроводы пересекают территории распространения многолетнемерзлых пород, характеризующиеся высокой экологической уязвимостью. Хрупкость арктических экосистем, их крайне низкая устойчивость к антропогенным воздействиям делают задачу оценки и минимизации экологических рисков приоритетной при проектировании и эксплуатации трубопроводной инфраструктуры.

Специфика Крайнего Севера содержит особые факторы риска, несвойственные территориям с умеренным климатом. К ним относятся: термомеханические процессы в мерзлых грунтах, физико-химическая трансформация нефти при аварийных разливах в ледовых условиях, высокая чувствительность северных биоценозов к фрагментации среды обитания. Каждый из этих факторов требует детального рассмотрения с позиции системного подхода к обеспечению экологической безопасности.

Проблема обеспечения устойчивости оснований и фундаментов инженерных сооружений в криолитозоне является одной из наиболее сложных в геотехнике. Многолетнемерзлые грунты, содержащие лед в качестве порозаполнителя, при оттаивании теряют несущую способность, переходя в пластичное или текучее состояние. Строительство и эксплуатация тепловыделяющих объектов, к которым относятся нефтепроводы с положительной температурой перекачиваемого продукта, нарушают естественный режим грунтового массива. Особое значение имеет тот факт, что трубопровод выступает как долговременный источник тепла, формирующий вокруг себя ореол оттаивания. В высокольдистых грунтах оттаивание провоцирует развитие термокарста. Неравномерные осадки грунтового основания по трассе нефтепровода вызывают изгибные напряжения в стенке трубы, превышающие проектные значения. Это приводит к образованию гофр и разрыву сварных соединений. Установлено, что на участках с льдистостью грунта выше 40% вероятность аварий по причине геокриологических процессов возрастает на порядок [8].

Дополнительным фактором риска выступает морозное пучение – увеличение объема водонасыщенного грунта при сезонном промерзании деятельного слоя. Силы пучения способны выдавливать заглубленный трубопровод к дневной поверхности, нарушая изначальное положение. При этом сезонные циклы вызывают деформации в металле трубы.

Для противодействия указанным процессам разработаны и применяются технологии термостабилизации грунтов. Наиболее распространенным типом устройств являются сезонно-



действующие охлаждающие устройства – парожидкостные термосифоны, работающие на естественном перепаде температур между холодным атмосферным воздухом и более теплым грунтом в зимний период [6]. Современные разработки включают системы горизонтального охлаждения значительных по площади массивов с использованием углекислоты в качестве хладагента, что позволяет отказаться от электропитания и повысить экологическую безопасность оборудования [1; 4].

Разливы нефти при разрывах трубопроводов на суше или подводных переходах в арктических акваториях относятся к категории наиболее опасных антропогенных воздействий. Поведение нефти в условиях низких температур, сильно отличается от сценариев, характерных для умеренных широт, что делает неприменимыми многие стандартные технологии ликвидации аварийных разливов.

При разливе на ледовую поверхность нефть частично впитывается в снежный покров, частично растекается по поверхности льда. Важнейшей особенностью является резкое замедление процессов испарения легких фракций и биодegradации углеводородов при отрицательных температурах. Если разлив происходит под ледовым покровом – а именно такой сценарий реализуется при авариях на подводных переходах, – нефть аккумулируется в подледном пространстве, формируя линзы, перемещающиеся под действием течений вместе с ледяным полем [2].

Обнаружение подледных скоплений нефти представляет собой сложнейшую техническую задачу, требующую применения гидролокационных методов и подводных аппаратов. Существующие математические модели дрейфа нефтяных пятен подо льдом не обладают достаточной точностью для прогнозирования зоны загрязнения, что связано с недостатком данных о параметрах течений и шероховатости нижней поверхности льда [7].

В отличие от газопроводов, аварии на которых характеризуются взрывопожарной опасностью, но относительно быстрым рассеиванием продукта в атмосфере, разливы нефти создают долговременный очаг загрязнения, поражающий все компоненты экосистемы – от почвенно-растительного покрова до морских млекопитающих.

Прокладка магистральных трубопроводов на Крайнем Севере создает выраженный эффект фрагментации естественных ландшафтов. Для диких животных нефтепровод представляет собой физическую преграду, источник шумового и светового загрязнения.

Как показывают исследования, проведенные в зоне прохождения трубопроводных систем в Якутии, плотность населения крупных копытных – дикого северного оленя, лося – вблизи линейных сооружений существенно снижается [3]. Нарушение путей сезонных миграций приводит к разделению популяций на изолированные группы, что создает угрозу генетическому разнообразию и устойчивости видов. Особую значимость данная проблема имеет для дикого северного оленя европейской части России, занесенного в Красную книгу РФ. Данный вид критически зависит от возможности беспрепятственного перемещения между зимними и летними пастбищами [5].

Следует отметить, что проблема не является неразрешимой технически. Современная практика предусматривает оборудование специальных переходов для животных в местах пересечения трассой миграционных путей, а также подземную прокладку трубопровода на участках с высокой плотностью диких животных.

Существенную долю аварийных ситуаций на трубопроводном транспорте составляют инциденты, обусловленные организационными причинами: несоблюдением регламентов технического обслуживания, нарушениями при производстве строительно-монтажных работ, несвоевременной диагностикой коррозионных дефектов.

Минимизация экологических рисков при строительстве нефтепроводов на Крайнем Севере требует реализации комплекса организационно-технических мероприятий на всех



этапах жизненного цикла объекта – от инженерных изысканий до вывода из эксплуатации. Геокриологический мониторинг должен осуществляться в непрерывном режиме. Термостабилизация основания должна проектироваться с учетом прогнозных сценариев изменения климата на срок эксплуатации сооружения [9].

Так же, важнейшим элементом стратегии является полноценный учет данных о биологическом разнообразии и путях миграций животных при выборе трассы нефтепровода и определении способа его прокладки. Международный опыт свидетельствует, что затраты на сооружение переходов для диких животных на порядок ниже ущерба от фрагментации популяций, имеющего отсроченные, но необратимые последствия.

Эффективное управление этими рисками не может быть обеспечено путем простого суммирования стандартных инженерных решений. Требуется системная интеграция геотехнического мониторинга, климатического моделирования и биологических данных в единую информационно-аналитическую платформу, обеспечивающую поддержку принятия решений на всех этапах строительства трубопровода. Только такой подход способен гарантировать сохранение уникальных экосистем Арктики при промышленном вмешательстве.

Список литературы:

1. Куличков С.В., Дербичев В.С., Дудин Р.В. Новая конструкция термостабилизатора грунта // Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе: материалы Международной научно-практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2020. – Т. 1. – С. 300–302.
2. Большев А.С., Васильев Ю.С., Альхименко А.И. Охрана окружающей среды при освоении углеводородных ресурсов арктических морей // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 7–15.
3. Степанова В.В., Аржаков А.И. Линейные сооружения как важнейший фактор фрагментации среды обитания диких копытных // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24. – № 3. – С. 95-102.
4. Участники Арктического проекта ТИУ разрабатывают горизонтальную систему охлаждения грунтов // Pro-Arctic: информационно-аналитический портал. – 27.10.2017.
5. Панченко Д.В., Катаев Г.Д. Миграции копытных и проблема линейных объектов на Севере // Труды Карельского научного центра РАН. – 2021. – № 6. – С. 72-79.
6. Долгих Г.М., Окунев С.Н. Опыт применения систем температурной стабилизации вечномёрзлых грунтов на объектах нефтегазового комплекса // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 2. – С. 24-29.
7. Торопов Е.Е., Шабалин А.А., Мохов О.А. Ликвидация разливов нефти подо льдом в удаленных арктических акваториях // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 4. – С. 30-39.
8. Алексеев А.Г., Хрусталева Л.Н. Проблемы строительства в криолитозоне в условиях климатических изменений // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 8. – С. 45-52.
9. Пульников Е.А., Яваров А.В. Опыт эксплуатации сезонно-действующих охлаждающих устройств и перспективы их применения для линейных сооружений // Материалы конференции «Фундаменты на ММГ и технологии термостабилизации». – М., 2024. – С. 42-48.

