

ЭКОНОМИКА: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ · ECONOMICS: PROBLEMS AND PROSPECTS

Вестник МИРБИС. 2022. № 2 (30): С. 65–73.

Vestnik MIRBIS. 2022; 2 (30): 65–73.

Научная статья

УДК 338.45

DOI: 10.25634/MIRBIS.2022.2.7

Добыча нефти в условиях «тающей мерзлоты»

Раиса Хусаиновна Азиева — ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия. raisaazieva@list.ru

Аннотация. Мировая экономика сталкивается с проблематикой изменения климата, что отражается на результатах экономической деятельности и принятии политических решений. Глобальное потепление затрагивает целый ряд отраслей мирового хозяйства, включая нефтяную отрасль. На сегодняшний день вопросы климатических изменений в научном сообществе проработаны достаточно детально, однако задачи сокращения экономического ущерба для ряда отраслей остаются не решенными, что обуславливает актуальность исследования проблематики добычи нефти в условиях тающей мерзлоты. В статье показано, что сектор нефтедобычи особенно уязвим к изменению климата, поскольку таяние мерзлоты, являющейся фундаментом для капитальных строений в арктическом регионе, становится причиной их обрушения, а также причиной возникновения климатических и операционных рисков, ставящих под угрозу сырьевую модель развития экономики России. Анализ воздействия тающей мерзлоты на процессы нефтедобычи и транспортировки указывает на рост рисков возникновения аварийных ситуаций в связи с тем, что в процессе таяния вытесняется жидкость и меняются несущие свойства грунтов, выступающих в качестве опор для нефтяных вышек и трубопроводных сетей. Представлены рекомендации, необходимые для предотвращения наступления негативных последствий при добыче нефти в условиях тающей мерзлоты, а именно: внедрение систем охлаждения и надлежащая изоляция частей конструкции, соприкасающихся с теплой нефтью. Предложенные пути решения позволят обеспечить надежность нефтяного сектора в районах Крайнего Севера и увеличить объемы добычи, минимизировав риски, связанные с таянием мерзлоты.

Ключевые слова: нефтедобыча, нефтепровод, тающая мерзлота, климатические изменения, арктический регион.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта «Цифровая трансформация нефтегазовой отрасли с использованием интеллектуальных технологий: необходимость и возможности» №20-010-00583.

Для цитирования: Азиева Р. Х. Добыча нефти в условиях «тающей мерзлоты».

DOI 10.25634/MIRBIS.2022.2.7 // Вестник МИРБИС. 2022; 2: 65–73.

JEL: L52, L72, O25, Q54

Original article

Oil production in the conditions of "melting permafrost"

Raisa Kh. Azieva – Millionshchikov Grozny State Oil Technical University (MGSOTU), Grozny, Russia.

raisaazieva@list.ru

Abstract. The world economy is facing the challenges of climate change, which is reflected in the results of economic activity and political decision-making. Global warming affects a number of sectors of the world economy, including the oil industry. To date, the issues of climate change in the scientific community have been worked out in sufficient detail, however, the tasks of reducing economic damage for a number of industries remain unresolved, which makes it relevant to study the problems of oil production in the conditions of melting permafrost. The article shows that the oil production sector is particularly vulnerable to climate change, since the thawing of permafrost, which is the foundation for capital buildings in the Arctic region, causes them to collapse, as well as the cause of climate and operational risks that threaten the raw-material development model of the Russian economy. An analysis of the impact of thawing permafrost on the processes of oil production and transportation indicates an increase in the risk of accidents due to the fact that during the thawing process liquid is displaced and the bearing properties of soils that act as supports for oil rigs and pipeline networks change. Recommendations are presented that are necessary to prevent the onset of negative consequences during oil production in the conditions of melting permafrost, namely: the introduction of cooling systems and proper insulation of parts of the structure that come into contact with warm oil. The proposed solutions will ensure the reliability of the oil sector in the Far North and increase production volumes, minimizing the risks associated with permafrost thawing.

Key words: oil production, oil pipeline, melting permafrost, climate change, arctic region.

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project "Digital transformation of the oil and gas industry using intelligent technologies: necessity and opportunities" No. 20-010-00583.

For citation: Azieva R. Kh. Oil production in the conditions of "melting permafrost". DOI 10.25634/MIRBIS.2022.2.7. *Vestnik MIRBIS*. 2022; 2: 65–73 (in Russ.).

JEL: L52, L72, O25, Q54

Введение

Россия на протяжении достаточно длительно-го времени осваивает природные ресурсы Арктики. Согласно оценкам, к 2050 году запасы нефти на арктическом шельфе способны обеспечить от 20 до 30 % мировых объемов добычи [Проблемы функционирования систем... 2020]. Добыча нефти в Арктике имеет свои отличительные особенности, поскольку в условиях мерзлоты и низких температур (до минус 50 градусов) не применимы обычные технологии. Однако, объективной реальностью нашего времени является глобальное потепление и таяние льдов вечной мерзлоты, что становится элементом риска для проектов, находящихся в стадии реализации и эксплуатации на арктическом шельфе.

Таяние вечной мерзлоты может затронуть более пятой части российской инфраструктуры, а согласно данным Правительства РФ, 40 % зданий и объектов инфраструктуры в районах, покрытых вечной мерзлотой, уже являются поврежденными. Экономика России в случае, если необходимые меры не будут предприняты, может потерять более 68 миллиардов долларов к 2050 году [Simmons & Kantchev 2021].

В XX столетии мерзлота прогрелась в среднем на 6 градусов, а учитывая то обстоятельство, что здания и сооружения строятся на мерзлоте как на бетоне, таяние приводит к уменьшению прочности конструкций и к их обрушению. Так, 29 мая 2020 года в Норильске произошел разлив нефти: обрушился резервуар для хранения дизельного топлива емкостью 21 000 литров. Из-за этого 6000 тонн вылилось на землю и до 15 000 тонн вылилось в различные водоемы. Авария была вызвана внезапным разрушением опорных стоек в основании резервуара для хранения нефтепродуктов в результате таяния мерзлоты вокруг несущих конструкций. Стоимость ликвидации данной аварии превысила сумму в 1,5 млрд рублей [Bos 2020].

По оценкам OECD, таяние вечной мерзлоты может стоить российской Арктике от 14 до 28 миллиардов рублей ежегодного ремонта дорог в период с 2020 по 2050 гг. Прогнозы аналитиков показывают, что затраты на поддержание стратегической инфраструктуры, отвечающей за транспортировку углеводородов за период до 2040 года, могут достигнуть 8,1 трлн рублей. Величина затрат в данном случае сопоставима с выручкой от годового объема добычи [The Economic Consequences... 2015]. Таким образом, неизбежно должен быть поставлен вопрос о сохранении рентабельности производства нефти в данном регионе.

Несомненно, повышение аварийности и снижение производственных мощностей, вызванные сокращением прочности фундаментов нефтяных установок в условиях тающей мерзлоты, ставят под угрозу не только окружающую природную среду, но и текущие планы развития экономики России, основанные, в том числе на увеличении объемов поставок нефти и газа в Китай.

Обзор литературы

Проблематику оценки и снижения рисков нефтедобывающего сектора в условиях таяния вечной мерзлоты исследуют А. Ю. Колпаков и Э. В. Сафина. Авторы в своей статье показывают, что процессы потепления в Арктике происходят более интенсивно, чем в мире, что напрямую обусловлено активностью нефтедобывающего сектора экономики. Потепление приводит к повышению температуры почвы в регионе и сокращению несущей способности грунта, что требует адаптации сектора нефтедобычи к новым условиям для поддержания работоспособности сооружений в будущем [Колпаков 2020].

Исследователи Б. Н. Порфирьев, Д. О. Елисеев, Д. А. Стрелецкий исследуют в своей статье финансовые затраты на поддержание стратегической инфраструктуры в условиях тающей мерзлоты. Совокупные затраты на поддержание дорожной инфраструктуры в регионах российской Арктики, в период с 2020 по 2050 гг., согласно расчетам

авторов, достигнут 30 % валового регионального продукта арктической зоны (в качестве базы для расчета берется величина ВРП 2018 года), что несомненно является достаточно высоким показателем [Порфирьев 2019].

Важность исследования проблемы транспортировки углеводородов в условиях тающей мерзлоты подтверждают результаты Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (4-6 декабря 2019 года), в рамках которой рассматриваются проблемы прогнозирования поведения грунтов при строительстве и эксплуатации трубопроводов в арктической зоне [Проблемы функционирования систем... 2020].

Вопросы организации и модернизации процессов добычи нефти в условиях тающей мерзлоты раскрываются в работах E. J. Couch и J. W. Watts, а также статье R. Merriam, A. Wechsler, R. Boorman, B. Davies. Авторами приводятся математические модели переходного теплового потока в эксплуатационных скважинах и вокруг них. В данных трудах предпринимается попытка понять тепловое поведение вечной мерзлоты в условиях добычи нефти, что позволит учитывать особенности таяния мерзлоты в проектировании, разработке и эксплуатации нефтяных скважин. Авторы показывают, что системы изолированных обсадных колонн могут значительно ограничить потенциальное таяние вечной мерзлоты. Данные работы имеют практическую направленность, поскольку представленные модели применяются при моделировании и проектировании скважин [Couch & Watts 1970; Merriam 1975].

Также вопросы добычи нефти в арктической зоне рассматривают китайские исследователи H. Zhao, G. Yang, T. Pierce. В ходе исследования авторами было выявлено, что тепло, передаваемое во время эксплуатации нефтяных скважин, вызывает локальное оттаивание. В свою очередь, все это приводит к оседанию грунта рядом с обсадными колоннами. Оседание оказывает разрушительное воздействие, приводя к сжатию, деформации и возможному выходу корпусов из строя. Результаты лабораторных исследований, проведенных китайскими исследователями, показывают, что деформации, вызванные оттаиванием и испытаниями после оттаивания в глубоких слоях вечной мерзлоты, нечувствительны к глубине и в значительной степени зависят от перераспре-

деления напряжений и наличия ледяных линз и включений [Zhao 2015].

Анализ проведенных исследований показал, что проблематика тающей мерзлоты является актуальной темой, но в тоже время, достаточно мало внимания уделяется систематизации теоретического и практического опыта противодействия негативному влиянию потепления в регионах Крайнего Севера. В связи с этим, необходимо более детально изучить проблему таяния мерзлоты, определить риски и возможные пути предотвращения наступления негативных последствий.

Результаты и обсуждение

Залежи углеводородов в арктических регионах разрабатывались различными производителями нефти и газа в течение последних пятидесяти лет. Большинство из залежей ценного природного ресурса перекрыто массивными слоями вечномерзлых грунтов. Эксплуатационные и нагнетательные скважины в таких регионах Крайнего Севера столкнулись с серьезными проблемами на стадиях проектирования и эксплуатации ввиду потери тепла из ствола скважины и последующего оттаивания вечномерзлых грунтов. Оттаивание — это фазовое превращение льда в воду, приводящее к уменьшению объема мерзлого грунта из-за сокращения порового пространства и оттаивания сегрегированного льда, что вызывает серьезную проблему оседания при таянии [Bos 2020].

Колебания внутренней температуры грунтов являются факторами, прямо или косвенно влияющими на текущее состояние вечной мерзлоты. Климат является одним из важнейших факторов, непосредственно влияющих на состояние вечной мерзлоты, однако другим существенным фактором выступает экономическая деятельность в регионе, инициирующая процессы теплопередачи в мерзлых грунтах. Теплопередача представляет собой процесс, включающий передачу энергии из одной точки или тела в другую точку или тело. Этот перенос запускается, когда в системе возникает тепловое неравновесие. Передача энергии происходит от более высоких температур к более низким, и продолжается до тех пор, пока система не достигнет теплового равновесия [Couch & Watts 1970]. Процессы теплопередачи способны нарушить целостность грунтов и существенно снизить их несущую способность за счет размягчения под воздействием повышенных температур.

Оседание является основной проблемой, вызванной непрерывным таянием вечной мерзлоты с течением времени и происходит из-за четырех различных, но взаимосвязанных механизмов, которые включают:

- таяние избыточного льда;
- уплотнение почвы, сопровождающееся вытеснением жидкости;
- снижение порового давления;
- снижение жесткости [Goodman 1977].

Рассмотрим далее более детально данные механизмы.

Таяние избыточного льда, присутствующего в слоях вечномерзлой почвы, в основном сосредоточено в приповерхностной вечной мерзлоте. Избыток льда может присутствовать более чем в одной форме: в виде массивных ледяных тел, в виде сегрегированного льда, ледяных пленок вокруг частиц почвы. Таяние избыточного льда приводит к объемному уменьшению объема грунта, в следствие чего, ствол нефтяной скважины теряет опору из-за нестабильности пласта, что сильно влияет на целостность ствола скважины [там же].

Уплотнение слабых талых грунтов, сопровождающееся вытеснением жидкости, также является приповерхностным явлением. Для этого механизма необходимо наличие избыточного льда, поскольку в противном случае это привело бы к снижению, а не к первоначальному увеличению порового давления. Когда избыток льда тает, он создает давление, превышающее гидростатическое давление, которое заставляет поровую жидкость в почве вытекать из зоны оттаивания, что приводит к уплотнению оттаявшей почвы. Таким образом, за таянием избыточного льда следует уплотнение слабых талых грунтов, сопровождающееся вытеснением жидкости [там же].

Снижение порового давления считается наиболее важным механизмом оседания вечной мерзлоты. Поскольку поровый лед со временем тает, это приводит к увеличению давления из-за сжатия с изменением фазы и вытеснения жидкости: давление внутри поры сначала увеличивается, а затем постепенно уменьшается. Это снижение порового давления создает эффективное напряжение внутри зерен почвы, вызывая уплотнение почвы и дальнейшее воздействие нагрузок на ствол скважины [там же].

Снижение жесткости является результатом действия всех трех механизмов, рассмотрен-

ных выше. Когда поровый лед тает, это вызывает уплотнение почвы, сопровождающееся вытеснением жидкости вследствие снижения порового давления. Все эти процессы приводят к тому, что почва становится слабой и теряет прочность, поскольку теряет опору из-за порового льда и деформируется. Нагрузки, возникающие в результате оседания при таянии, очень значительны и должны учитываться при проектировании и разработке нефтегазовой скважины в Арктическом регионе. Вертикальные деформации и непрерывные боковые нагрузки являются одними из важных факторов, которые вызывают значительную деформацию обсадной колонны и должны приниматься во внимание для обеспечения устойчивости ствола скважины [там же].

Таким образом, стоит отметить, что процессы таяния мерзлоты оказывают непосредственное воздействие на нефтяные скважины за счет протекания процессов деформации окружающей почвы. Рассмотрим далее более детально уязвимость процессов нефтедобычи и транспортировки нефти в данных условиях и сформулируем рекомендации, необходимые для предотвращения наступления негативных последствий.

1. Уязвимость процессов нефтедобычи и возможные способы их преодоления.

Одной из ожидаемых трудностей для нефтедобывающих компаний является таяние вечной мерзлоты вокруг добывающих нефтяных скважин, что может привести к уплотнению грунта, просадке и возможному повреждению скважины [Merriam 1975]. В данном случае оттаивание вызвано выработкой больших объемов горячих жидкостей в течение длительных периодов времени. Оседание при оттаивании грунтов непосредственно влияет на стабильность нефтяных скважин, вызывая изгибы и структурные нарушения по всей длине ствола скважины в зонах вечной мерзлоты, подверженных оттаиванию, что приводит к повреждению обсадной колонны скважины.

Горячая сырая нефть поступает в колонну на глубине значительно ниже уровня вечной мерзлоты и течет вверх, передавая тепло за счет конвекции. Тепло передается по трубопроводу, через обсадную колонну и изоляцию, через цемент и в окружающую вечную мерзлоту и незамерзший грунт. Поскольку компоненты обсадной колонны скважины обеспечивают тепловое ко-

роткое замыкание в вертикальном направлении, тепло также может передаваться вдоль обсадной колонны из более теплых, в более холодные области, провоцируя процессы оттаивания замерзшего грунта в окружающей среде [Merriam 1975].

Любое оттаивание, происходящее на границе раздела цемента и вечной мерзлоты, разрушает цементную связь. Таяние вечной мерзлоты в слоях вблизи поверхности приводит к осыпанию почвы вокруг ствола скважины. Возникающие в результате этого механические напряжения, воздействующие на обсадную колонну, могут привести к непоправимому повреждению и вызвать необходимость преждевременной остановки скважины. Учитывая огромные затраты на бурение и завершение работ, с которыми приходится сталкиваться в Арктике, это явно нежелательно.

Существует два возможных подхода к решению этой проблемы (рисунок 1). Первый подход заключается в предотвращении оттаивания вечной мерзлоты на участке, достаточно толстом для поддержания надлежащего завершения скважины. Второй заключается в том, чтобы разрешить оттаивание вечной мерзлоты и спроектировать завершение скважины, которое будет совместимо с неблагоприятными условиями, возникающими в результате изменений.



Рис. 1. Способы решения проблемы таяния мерзлоты при нефтедобыче

Источник: составлено автором на основе [Couch & Watts 1970]

таивания мерзлоты, можно выделить также два принципиальных пути решения. Один из путей заключается в надлежащей изоляции эксплуатационной колонны через некоторую часть зоны вечной мерзлоты. Второй путь заключается в охлаждении обсадной колонны через некоторую часть зоны вечной мерзлоты [Couch & Watts 1970].

Надлежащая изоляция, по мнению R. Merriam, A. Wechsler, R. Boorman и B. Davies, является приоритетным способом предотвращения рисков, связанных с оттаиванием мерзлоты.

Использование специальных изолированных оболочек значительно уменьшит оттаивание, которое в противном случае произошло бы в вечной мерзлоте, окружающей неизолированную скважину, добывающую горячую сырую нефть. Радиус оттаивания и минимальная глубина оттаивания в любой момент времени зависят от эффективности и толщины изолирующего слоя. Однако даже частично разрушенная изоляция будет обеспечивать гораздо большую защиту от оттаивания, чем неизолированный колодец [Merriam 1975].

2. Уязвимость процессов транспортировки и пути их решения.

В связи с освоением и использованием мировых ресурсов нефти и газа количество трубопроводов в последние десятилетия увеличилось беспрецедентными темпами.

В научной статье Х. Ш. Шамилова, Д. П. Десяткина приводится теоретическое и практическое обоснование предпочтительного способа строительства трубопроводов нефтяной промышленности в условиях вечной мерзлоты. Авторы показывают, что в условиях наличия рисков оттаивания несущих грунтов основания, наиболее надежным способом является надземная прокладка трубопровода с применением шарнирных опор. Данный метод является лучшим способом транспортировки углеводородов с точки зрения влияния на мерзлые грунты, но в тоже время и наиболее дорогим способом организации поставок нефти от места добычи к месту переработки [Шамилов 2019].

Большинство российских трубопроводов в настоящее время проходят под землей в соответствии с нормами проектирования магистральных трубопроводов, что делает их особенно уязвимыми для подвижного грунта. При пересечении районов вечной мерзлоты тепло от трубопровода

Рассматривая способы предотвращения от-

с нефтью способно растопить вечную мерзлоту вокруг конструкции. Поскольку вечная мерзлота чрезвычайно чувствительна к температуре, таяние вечной мерзлоты вокруг трубопровода может постепенно снизить несущую способность фундамента. Неравномерно прогреваемый оседающий грунт прогибается и деформирует трубопроводы, а вода, скапливающаяся вокруг труб, вызывает их коррозию: 75 тысяч километров нефтепроводов, проложенных через Сибирь, могут стать уязвимыми для разрывов, когда мерзлый грунт под ними начнет отступать.

Кроме того, когда трубопровод пересекает вечную мерзлоту с различным содержанием льда и различными геологическими формами рельефа, дифференцированное оттаивание может привести к изгибу трубопровода, поломкам, пробоям и утечкам нефти. Так, нефтепровод Китай–Россия эксплуатируется уже более десяти лет. Результаты полевых наблюдений показали,

что вокруг нефтепровода образовалась оттаивающая колба, которая постепенно расширяется с течением времени. Ввиду недостатков существующих мер по смягчению последствий таяния вечной мерзлоты предлагается новый метод борьбы, основанный на активном охлаждении трубопровода [Сао 2021].

В настоящее время исследователями разработаны многочисленные пути решения проблем, связанных с транспортировкой нефтепродуктов в условиях тающей мерзлоты. Так, одним из способов достижения термостабилизации грунтов является использование охлаждающих установок и теплоизолирующих экранов (рис. 2). Принцип действия термостабилизатора основан на автоматическом перемещении охлаждающего агента внутри герметичной конструкции от конденсатора к охлаждающей трубе [Проблемы функционирования систем... 2020].

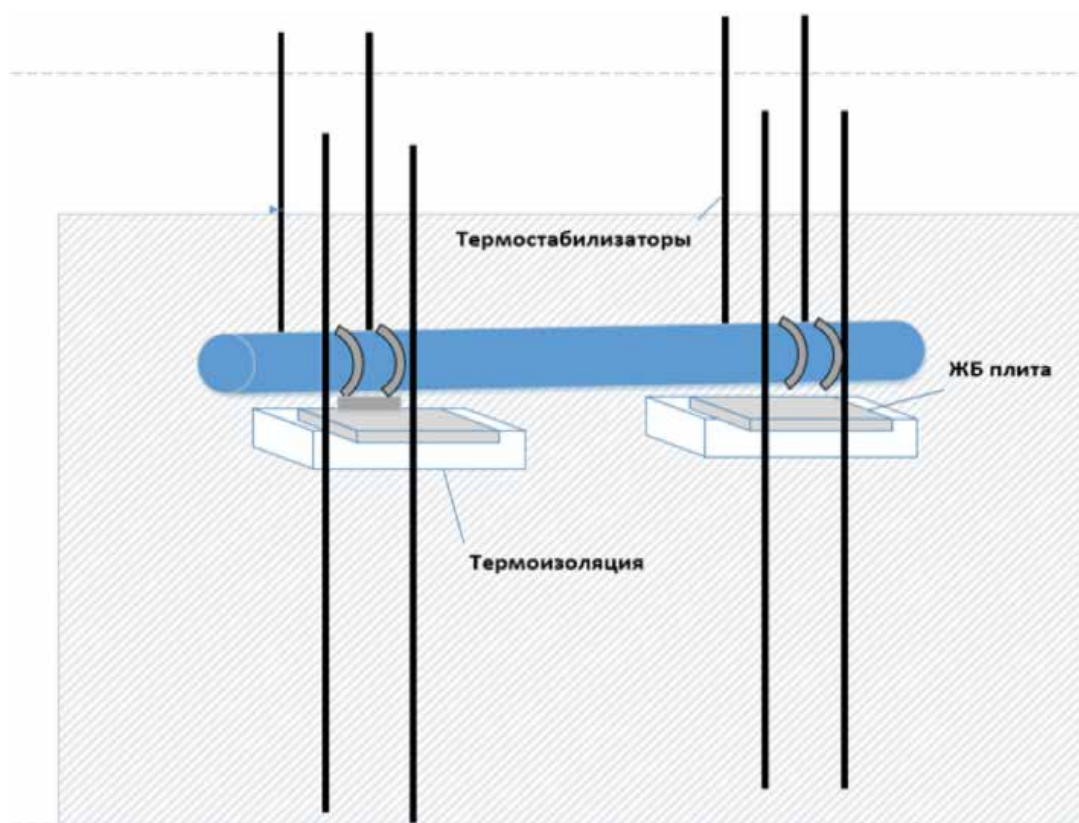


Рис. 2. Подземная прокладка трубопровода с использованием термостабилизатора и термоизоляции

Источник: составлено автором по данным [Проблемы функционирования систем... 2020, 36]

Использование термоизоляции при строительстве трубопровода было предложено при проектировании нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий Океан». Предлагалось использовать так называемые холодные опоры, опирающиеся на железобетонные плиты с размещенной под ними теплоизоляцией, как продемонстрировано на рисунке 2. Однако реализация данно-

го предложения была отменена с силу высокой стоимости и технической сложности реализации [Проблемы функционирования систем... 2020].

Развитие трубопроводного транспорта в арктической зоне напрямую зависит от научно-технических разработок, направленных на сокращение теплового воздействия по отношению к мерзлым грунтам. Компаниям, работающим в сфере транспортировки нефти и нефтепродуктов, необходимо более ответственно относиться к окружающей среде, а также учитывать риски, связанные с аварийными разливами нефти, при определении экономической целесообразности строительства и реконструкции объектов инфраструктуры. Снабжение трубопроводов теплоизоляцией или охлаждающими установками позволит решить проблемы оттаивания мерзлых грунтов и предотвратить проблемы, связанные с разрушением конструкций.

Таким образом, рассматривая проблематику транспортировки нефти, можно выделить рекомендации по минимизации наступления рисков событий:

1. Применять методы надземной прокладки трубопроводов в тех областях, где это разрешает законодательство Российской Федерации.
2. Использовать системы охлаждения (термостабилизация и термоизоляция) на вновь строящихся объектах.
3. Оснастить уже имеющиеся трубопроводы системами термостабилизации для предотвращения теплопередачи и устранения проблемы оттаивания мерзлых грунтов.

Заключение

Проблематика таяния вечной мерзлоты напрямую затрагивает нефтяную отрасль. При этом, уязвимыми являются не только процессы добычи, но и процессы транспортировки углеводородов, поскольку капитальные сооружения разрушаются под воздействием тепла и последующей деформацией почвы в зоне вечной мерзлоты.

Несмотря на то, что климатическая проблема является глобальной и обсуждается достаточно длительное время, российский нефтегазовый сектор особенно уязвим к последствиям измене-

ния климата: производственные процессы и процессы транспортировки организуются в условиях экстремально низких температур, большинство производственных мощностей являются устаревшими, а вновь построенные объекты не адаптированы в полной мере к происходящим температурным изменениям (например, нефтепровод Китай — Россия).

Повышение температур в зонах вечной мерзлоты требует проведения нового этапа адаптации производственных процессов с учетом проблемы постепенного и непрекращающегося оттаивания почв, ставшей особенно острой в настоящее время. Российская нефтяная отрасль сталкивается с необходимостью модернизации существующей инфраструктуры, поскольку игнорирование проблемы приведет к прямому экономическому и экологическому ущербу.

Нефтяной отрасли необходимо модернизировать имеющуюся инфраструктуру для предотвращения ее разрушения в процессе оттаивания мерзлых грунтов, выступающих в роли фундамента для нефтяных вышек и трубопроводов. Проведенный анализ показал, что необходимо создание систем охлаждения и оснащение этими системами всех объектов, использующихся в районах Крайнего Севера и подверженных риску негативного влияния тающей мерзлоты. Заметим, что компания «Газпром» уже создала систему установок парожидкостного охлаждения, систему подземных труб на Бованенковском месторождении для циркуляции хладагента и обеспечения того, чтобы грунт оставался замороженным. Однако подобными установками необходимо оснастить все месторождения во избежание наступления рисков событий.

Учитывая тот факт, что экспорт углеводородов играет главенствующую роль для экономики России, требуется принимать все необходимые меры для обеспечения работоспособности сложных инженерных конструкций. Направлением дальнейших исследований является обоснование экономической целесообразности вложения дополнительных средств в модернизацию инфраструктуры нефтяной промышленности.

Список источников

1. Колпаков 2020 — Колпаков А. Ю. Оценка затрат нефтедобывающего сектора России для снижения рисков деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата / А. Ю. Колпаков, Э. В. Сафина. DOI 10.47711/2076-318-2020-186-200 // Научные труды:

- Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020;18:186–200.
2. Порфирьев 2019 — Порфирьев Б. Н. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для устойчивости дорожной инфраструктуры в российской Арктике / Б. Н. Порфирьев, Д. О. Елисеев, Д. А. Стрелецкий. DOI 10.31857/S0869-587389121228-1239 // Вестник Российской Академии Наук. 2019; 89(12):1228–1239.
 3. Проблемы функционирования систем... 2020 — Проблемы функционирования систем транспорта : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (4–6 декабря 2019 года). В 2 т. Том 1 / ответственный редактор А. В. Медведев. Тюмень: ТИУ, 2020. 394 с. ISBN: 978-5-9961-2351-3.
 4. Шамилов 2019 — Шамилов Х. Ш. Особенности проектирования трубопроводов в зонах распространения островной мерзлоты / Х. Ш. Шамилов, Д. П. Десяткин. DOI 10.24411/0131-4270-2019-10305 // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2019; 3:24–29.
 5. Cao 2021 — Cao Y. Proposal of a New Method for Controlling the Thaw of Permafrost around the China–Russia Crude Oil Pipeline and a Preliminary Study of Its Ventilation Capacity. By Yapeng Cao; Guoyu Li; Gang Wu; Dun Chen; et al. DOI 10.3390/w13202908 // Water 2021; 13(20): 2908.
 6. Simmons & Kantchev 2021 — Simmons A. M., Kantchev G. Climate Change Is Melting Russia's Permafrost – and Challenging Its Oil Economy // The Wall Street Journal. Available at: <https://www.wsj.com/articles/climate-change-permafrost-oil-gas-economy-russia-11633443474?mod=djemalertNEWS>. Publication date: 10/05/2021.
 7. Couch & Watts 1970 — Couch E. J., Watts J. W. Permafrost Thawing Around Producing Oil Wells. DOI 10.2118/70-02-06 // J Can Pet Technol. 1970; 9(2):107–111.
 8. Goodman 1977 — Goodman M. A. Loading Mechanisms in Thawed Permafrost Around Arctic Wells. DOI 10.1115/1.3454587 // Journal of Pressure Vessel Technology. 1977; 99(4): 641–645.
 9. Bos 2020 — Bos Ch. Melting Permafrost Claims Its First Major Victim, Russia's Oil & Gas Network // Cleantechnica.com : [website]. Available at: <https://cleantechnica.com/2020/06/09/melting-permafrost-claims-its-first-major-victim-russias-oil-gas-network>. Publication date: 06/09/2020.
 10. Merriam 1975 — Merriam R. Insulated Hot Oil-Producing Wells in Permafrost. By R. Merriam, A. Wechsler, R. Boorman, B. Davies. DOI 10.2118/4590-PA // J Pet Technol. 1975; 27:357–365.
 11. The Economic Consequences... 2015 — The Economic Consequences of Climate Change. DOI 10.1787/9789264235410-en. OECD, 2015. OECD Publishing, Paris. 141 p. ISBN 978-92-64-23540-3.
 12. Zhao 2021 — Zhao H. Laboratory study and predictive modeling for thaw subsidence in deep permafrost. By H. Zhao, G. Yang, T. Pierce. DOI doi: 10.3724/SPJ.1226.2021.20087 // Sciences in Cold and Arid Regions. 2021;13(2): 95–106.

References

1. Kolpakov A. Yu. Otsenka zatrat neftedobyvayushchego sektora Rossii dlya snizheniya riskov degradatsii vechnoy merzloty pod vliyaniem izmeneniy klimata [Estimation of costs of the oil-producing sector of Russia to reduce the risks of permafrost degradation under the influence of climate change]. By A. Yu. Kolpakov, E. V. Safina. DOI 10.47711/2076-318-2020-186-200. *Nauchnyye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN* [Scientific Works: Institute of Economic Forecasting RAS]. 2020;18:186–200 (in Russ.).
2. Porfiriev B. N. Ekonomicheskaya otsenka posledstviy degradatsii vechnoy merzloty pod vliyaniem izmeneniy klimata dlya ustoychivosti dorozhnoy infrastruktury v rossiyskoy Arktike [Economic assessment of the consequences of permafrost degradation under the influence of climate change for the sustainability of road infrastructure in the Russian Arctic]. By B. N. Porfiriev, D. O. Eliseev, D. A. Streletsky. DOI 10.31857/S0869-587389121228-1239. *Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2019; 89(12):1228–1239 (in Russ.).
3. *Problemy funktsionirovaniya sistem transporta* [Problems of the functioning of transport systems] : conference proceedings. In 2 volumes. Volume 1. Managing editor A. V. Medvedev. Tyumen : TIU Publ., 2020. 394 p. ISBN: 978-5-9961-2351-3 (in Russ.).
4. Shamilov Kh. Sh. Peculiarities of designing pipelines in the zones of distribution of insular permafrost. By Kh. Sh. Shamilov, D. P. Desyatkin. DOI 10.24411/0131-4270-2019-10305. *Transport i khraneniye nefteproduktov* [Transport and storage of petroleum products]. 2019; 3:24–29 (in Russ.).
5. Cao Y. Proposal of a New Method for Controlling the Thaw of Permafrost around the China–Russia Crude Oil Pipeline and a Preliminary Study of Its Ventilation Capacity. By Yapeng Cao; Guoyu Li; Gang Wu; Dun Chen; et al. DOI 10.3390/w13202908. *Water*. 2021; 13(20): 2908.

6. Simmons A. M., Kantchev G. Climate Change Is Melting Russia's Permafrost – and Challenging Its Oil Economy. *The Wall Street Journal*. Available at: <https://www.wsj.com/articles/climate-change-permafrost-oil-gas-economy-russia-11633443474?mod=djemalertNEWS>. Publication date: 10/05/2021.
7. Couch E. J., Watts J. W. Permafrost Thawing Around Producing Oil Wells. DOI 10.2118/70-02-06. *J Can Pet Technol*. 1970; 9(2):107–111.
8. Goodman M. A. Loading Mechanisms in Thawed Permafrost Around Arctic Wells. DOI 10.1115/1.3454587. *Journal of Pressure Vessel Technology*. 1977; 99(4): 641–645.
9. Bos Ch. Melting Permafrost Claims Its First Major Victim, Russia's Oil & Gas Network. *Cleantechnica.com* : [website]. Available at: <https://cleantechnica.com/2020/06/09/melting-permafrost-claims-its-first-major-victim-russias-oil-gas-network>. Publication date: 06/09/2020.
10. Merriam R. Insulated Hot Oil-Producing Wells in Permafrost. By R. Merriam, A. Wechsler, R. Boorman, B. Davies. DOI 10.2118/4590-PA. *J Pet Technol*. 1975; 27:357–365.
11. *The Economic Consequences of Climate Change*. DOI 10.1787/9789264235410-en. OECD, 2015. OECD Publishing, Paris. 141 p. ISBN 978-92-64-23540-3.
12. Zhao H. Laboratory study and predictive modeling for thaw subsidence in deep permafrost. By H. Zhao, G. Yang, T. Pierce. DOI 10.3724/SP.J.1226.2021.20087. *Sciences in Cold and Arid Regions*. 2021;13(2): 95–106.

Информация об авторе:

Азиева Раиса Хусаиновна — кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и государственное управление» ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», проспект Хусейна Исаева, 100, Грозный 364024, Россия. SCOPUS Autor ID: 57210155520; Autor ID (РИНЦ): 255575.

Information about the author:

Azieva Raisa Kh. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Theory and Public Administration, Millionshchikov Grozny State Oil Technical University, 100 Khusein Isaev Avenue, Grozny 364024, Russia. SCOPUS Author ID: 57210155520; Author ID (RSCI): 255575.

Статья поступила в редакцию 14.03.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 16.05.2022. The article was submitted 03/14/2022; approved after reviewing 04/11/2022; accepted for publication 05/16/2022.