

УДК 33
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-6-24-39>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2021

Экстремальные метеорологические явления как факторы риска для объектов нефтегазовой отрасли

Михеев П. Н.,

Русское общество управления
рисками,
119602, Россия, г. Москва,
Никулинская ул., д. 27/129

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с влиянием изменения повторяемости, интенсивности и продолжительности экстремальных метеорологических явлений на объекты нефтегазовой отрасли. В качестве характеристик экстремальных явлений используются рекомендованные Всемирной метеорологической организацией (ВМО) климатические индексы. Продемонстрированы возможности использования климатических индексов для идентификации физических рисков применительно к объектам нефтегазовой отрасли. Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости климатических индексов и выявлены географические регионы Содружества Независимых Государств (СНГ), наиболее и наименее уязвимые к изменениям экстремальных характеристик климата. Полученные результаты могут использоваться как на уровне отдельных предприятий и объектов нефтегазовой отрасли, так и при разработке общих для отрасли нормативных актов.

Ключевые слова: климатический риск, изменение климата, экстремальные метеорологические явления, климатические индексы, опасность, уязвимость, нефтегазовые проекты, адаптация к изменениям климата.

Для цитирования: Михеев П. Н. Экстремальные метеорологические явления как факторы риска для объектов нефтегазовой отрасли // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 6. С. 24—39, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-6-24-39>

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Extreme Weather Events as Risk Factors for Oil and Gas Facilities

Petr N. Mikheev,

Russian Risk Management
Society,
Nikulinskaya str., 27/129,
Moscow, 119602, Russia

Abstract

The article discusses issues related to the influence of changes in the frequency, intensity and duration of extreme meteorological events on the objects of the oil and gas industry. Climate indices recommended by World Meteorological Organization (WMO) are used as characteristics of the extreme events. The possibilities of using climatic indices for identifying physical risks applicable to the objects of the oil and gas industry are demonstrated. The features of the spatio-temporal variability of climatic indices are considered and the geographical regions of the Commonwealth of Independent States (CIS) are identified as the most and least vulnerable to changes in the extreme characteristics of the climate. The results obtained can be used both at the level of individual enterprises and facilities of the oil and gas industry, and in the development of regulations common for the industry.

Keywords: climatic risk, climate changing, extreme meteorological events, climatic indices, hazard, vulnerability, oil and gas projects, adaptation to climate change.

For citation: Mikheev P.N. Extreme weather events as risk factors for oil and gas facilities // Issues of Risk Analysis. 2021;18(6):24-39 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-6-24-39>

The author declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Исходные данные и методы анализа
2. Климатические индексы как индикаторы рисков
3. Региональные особенности изменений экстремумов

Заключение

Литература

Введение

Каждый год приносит новые свидетельства глобального потепления климата, проявляющиеся в самых различных областях жизни общества. Согласно исследованию Программы развития ООН¹, почти две трети (64%) людей в 50 странах считают изменение климата глобальной чрезвычайной ситуацией. В мире число зарегистрированных стихийных бедствий, связанных с погодой, по сравнению с 1960 г. более чем утроилось [1]. По данным ВМО [2], период 2016—2020 гг. стал самым теплым пятилетним периодом в истории метеорологических наблюдений начиная с 1850 г. Наблюдаемые в последние десятилетия беспрецедентные темпы изменения климата и еще большие изменения, ожидаемые в XXI в., могут радикально осложнить ситуацию.

На территории России темпы потепления климата еще более значительные. По данным Росгидромета², скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976—2020 гг. составила 0,51 °C/10 лет. Это примерно в два с половиной раза выше, чем скорость роста глобальной температуры, и на треть выше скорости роста температуры в среднем по суше Северного полушария. При этом повторяемость, интенсивность и продолжительность экстремальных метеорологических явлений неуклонно растут. В одном только 2020 г. на территории Российской Федерации отмечалась 1000 опасных гидрометеорологических явлений. Климатическая доктрина Российской Федерации называет изменение климата «одной из важнейших международных проблем XXI в., которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации»³.

Трансформация климатических рисков в финансовые переводит проблемы, связанные с изменениями климата, на качественно новый уровень. Банк России рекомендует публичным акционерным обществам в описание основных рисков и возможностей «включать риски и возможности за короткий, средний и длительный промежуток времени, а в отношении климатических рисков давать оценку существенности физических и переходных климатических рисков, их описание и причины того, почему они являются существенными. Рекомендуются также представлять информацию об учете указанных рисков и возможностей при разработке стратегии» [3].

Воздействие изменений климата имеет комплексный характер и создает значительные риски, прежде всего для населения, национальной инфраструктуры и климатозависимых отраслей экономики [4]. Для топливно-энергетического комплекса, практически все составляющие которого зависят от климата, риски, связанные с глобальным потеплением, становятся все более и более актуальными. Основопологающим в решении климатических проблем для отрасли является утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации в декабре 2019 г. Национальный план адаптации к изменениям климата (НПА). В целях минимизации уязвимости населения и отраслей экономики — сельского хозяйства, промышленности, жилищно-коммунального хозяйства — перед изменениями климата Правительство Российской Федерации планирует создание национальной системы управления климатическими рисками⁴.

Для принятия мер, направленных на смягчение климатических воздействий, требуются долгосрочные планы действий, основанные на научно обоснованных оценках изменения климата, включая учет изменений статистических характеристик экстремальных явлений. В многочисленных исследованиях, например [5] и [6], подчеркивается все возрастающее влияние погодных экстремумов на здоровье и жизнедеятельность населения.

¹ Исследование “The Peoples’ Climate Vote” // United Nations Development Programme. 2021.

² Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации» за 2020 г. М.: Росгидромет, 2021. URL: <http://climatechange.igce.ru>.

³ Климатическая доктрина Российской Федерации от 17 декабря 2009 года. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/6365> (Дата обращения: 30.11.2021).

⁴ В России создадут систему управления климатическими рисками // Коммерсант. 2021. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4782653> (Дата обращения: 30.11.2021).

Таблица 1. Климатические индексы, характеризующие экстремумы температуры и осадков*Table 1. Climatic indices characterizing extremes of temperature and precipitation*

№ п/п	Индекс	Определение	Единицы измерения
1	2	3	4
1	SU	Число дней в году с максимальной температурой $T_X > 25^\circ\text{C}$	Дни
2	ID	Число дней в году с максимальной температурой $T_X < 0^\circ\text{C}$	Дни
3	WSDI	Волны тепла: число дней в рассматриваемом периоде, когда по меньшей мере в течение пяти последовательных дней $T_X > 90$ -го перцентиля	Дни
4	CSDI	Волны холода: число дней в рассматриваемом периоде, когда в течение по меньшей мере пяти последовательных дней $T_N < 10$ -го перцентиля	Дни
5	R10	Число дней, когда суточные суммы осадков > 10 мм	Дни
6	R20	Число дней, когда суточные суммы осадков > 20 мм	Дни
7	CDD	Максимальная продолжительность непрерывного сухого периода, когда суточные суммы осадков < 1 мм	Дни
8	CWD	Максимальная продолжительность непрерывного влажного периода, когда суточные суммы осадков ≥ 1 мм	Дни

В данной статье рассматриваются климатические экстремумы на фоне внутрисезонной и внутримесячной изменчивости, идентифицируемые с помощью рекомендованных ВМО климатических индексов. Показаны возможности использования индексов в качестве индикаторов физических рисков для основных объектов нефтегазовой отрасли. Для периода 1961—2020 гг. на территории СНГ выявлены положительные и отрицательные тренды климатических экстремумов. Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости индикаторов риска и определены наиболее и наименее уязвимые к изменениям климата регионы. Полученные результаты могут использоваться как на уровне отдельных предприятий и объектов нефтегазовой отрасли в контексте управления рисками, так и при модификации и уточнении общих для нефтегазовой отрасли нормативных актов.

1. Исходные данные и методы анализа

Для получения оценок изменений климата в контексте решения прикладных задач обычно используются рекомендованные ВМО климатические индек-

сы [7], характеризующие экстремальные явления⁵. Данные показатели могут использоваться в разных регионах земного шара с целью определения пространственно-временных особенностей физической составляющей климатического воздействия и оценки климатических рисков для различных отраслей экономики.

Исходной информацией для расчета климатических индексов служили станционные данные о средней суточной, максимальной и минимальной температуре воздуха, суточных суммах осадков, полученные на базе архивов ВНИИГМИ-МЦД⁶ за период с 1961 по 2020 г. Архивы включают данные 236 станций, расположенных на территории СНГ (54 станций севернее 60° с.ш.).

С использованием пакета R⁷ были произведены расчеты указанных в табл. 1 климатических индексов. Рассматривались показатели, отражающие

⁵ Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) Climate Change Indices.

⁶ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД).

⁷ Climdex Project (см. <https://www.climdex.org>).

воздействия на длительных интервалах времени (волны тепла и холода — индексы WSDI и CSDI), которые могут нанести значительный ущерб экономике. Особое внимание уделялось оценке такого показателя, как число дней с переходом температуры воздуха через 0 °C (индекс ID), изменение которого существенно влияет на прочность сооружений, состояние дорог и т. д. Кроме того, рассматривались показатели режима атмосферных осадков — характеристики длительности сухих/влажных периодов (индексы CDD/CWD), число дней в году с суточными суммами осадков больше 10 мм (индекс R10) и 20 мм (индекс R20).

Для оценки значимости тренда климатических индексов использовался тест Манна — Кендалла [8, 9], основанный на ранжировании непараметрической проверкой наличия монотонной статистически значимой тенденции в многолетних рядах (1961—2020 гг., 60 случаев) индексов. Нулевая гипотеза H_0 состоит в том, что выборка хронологически упорядочена и независима. Критическое значение U при $p\text{-value} = 0,05$ (5%-м уровне значимости) равно 1,96. Если эмпирическое значение критерия Манна — Кендалла $U > 1,96$ ($U < -1,96$), то нулевая гипотеза отвергается, и положительный (отрицательный) тренд считается статистически значимым.

Проводился сравнительный анализ индексов, рассчитанных для двух периодов: 1961—1990 гг. и 1991—2020 гг. При этом рассчитывались оценки повторяемости (вероятности) превышения норм 1961—1990 гг. в 1991—2020 гг. и строились карты пространственного распределения данных вероятностей на территории СНГ. В качестве дополнительного метода использовался квартильный анализ — один из возможных непараметрических (не требующих гипотез о виде распределения) способов фильтрации выбросов и экстремальных величин [10]. Результаты статистического анализа представлялись в форме графиков, выполненных отдельно для двух временных периодов: 1961—1990 гг. (30 случаев) и 1991—2020 гг. (30 случаев) для указанных в табл. 1 индексов для 236 станций, расположенных на территории СНГ.

2. Климатические индексы как индикаторы рисков

Риски, связанные с изменением климата, относятся к группе ESG (англ. Environmental, Social, Governance), объединяющей три основных компонента: экологическое, социальное воздействие и аспекты управления, в том числе практики корпоративного управления и этические вопросы [11]. Факторы риска, возникающие в результате изменения климата, в свою очередь, делятся на две большие группы: физические и факторы переходного периода [12, 13]. Климатические риски как физические факторы могут возникнуть на любой стадии реализации нефтегазового проекта: от геологоразведочных работ и освоения месторождений, промышленной добычи углеводородов и транспортировки нефти и газа до создания мощностей по переработке или сжижению и поставок готовой продукции потребителю. Во многих случаях аварии на производстве могут быть связаны именно с климатическими факторами. При анализе климатических рисков обычно выделяют риски, связанные с экстремальными явлениями и медленными климатическими изменениями. Возможные подходы к оценке климатических рисков в контексте нефтегазовой отрасли представлены в [14].

Особое значение имеют физические риски, обусловленные увеличением повторяемости и интенсивности экстремальных метеорологических явлений, с которыми связаны засухи и наводнения, лесные пожары и таяние вечной мерзлоты. По некоторым оценкам, в Российской Федерации ежегодный ущерб от опасных гидрометеорологических явлений составляет в среднем 30—60 млрд руб.⁸ Информационной основой исследований рисков, связанных с климатическими экстремумами, служат архивные метеорологические данные, результаты численного прогноза погоды и климата на основе ансамблевого подхода с использованием глобальных и региональных климатических моделей. Данные мониторинга и гидродинамического моделирования могут использоваться для составления

⁸ Ежегодный ущерб РФ от опасных климатических явлений оценили в 60 млрд руб. // Интерфакс. 2015. URL: <https://www.interfax.ru/business/479724> (Дата обращения: 30.11.2021).

экспертных суждений и получения последующих количественных оценок рисков, актуальных на различных этапах реализации нефтегазовых проектов в различных географических регионах страны. Однако, несмотря на рост с возрастающей скоростью объемов цифровых данных, в большинстве исследований приводятся в основном качественные методы, ориентированные на оценку уровня риска. Данное обстоятельство связано, прежде всего, с необходимостью оценки не только вероятности погодно-климатических явлений (опасности), но также подверженности и уязвимости реципиента.

Уязвимость как мера восприимчивости, реагирования и потенциала адаптации объектов нефтегазовой отрасли может быть выражена через такие параметры, как, например, степень износа техниче-

ского оборудования, величина нанесенного ущерба или количество аварий, связанных с погодно-климатическими явлениями, наличие инструментов страхования и т. д. В свою очередь, ущерб можно оценивать в процентах или в пересчете на восстановительную стоимость. В открытом доступе, как правило, такие данные отсутствуют или являются недостаточно точными. Один из возможных подходов к решению проблемы заключается в использовании на практике в качестве индикаторов риска рекомендованных ВМО климатических индексов.

Для каждой стадии реализации нефтегазовых проектов можно выделить характерные свойственные ей в первую очередь воздействия (ключевые риски), связанные с климатическими экстремумами (табл. 2).

Таблица 2. Потенциальные климатические риски для объектов нефтегазовой отрасли и электроэнергетики

Table 2. Potential climatic risks for oil and gas industry, electric power

		Объекты				
		добыча	транспорт	переработка	подземное хранение	электроэнергетика
Температура	Экстремально высокая (WSDI, SU2)	Уменьшение мощности компрессорных станций, сокращение объемов добычи газа, деградация многомерзлотных грунтов	Активизация геокриологических процессов, уменьшение устойчивости многомерзлотных грунтов	Угрозы для технологических операций, перегрев зданий и оборудования, увеличение потребностей в кондиционировании	Изменение расхода газа	Увеличение стоимости гидроэнергетических проектов, снижение мощности энергоблоков, растяжение проводов ЛЭП
	Экстремально низкая (ID, CSDI)	Аварийные ситуации, усложнение и замедление разведочных работ, деформация оборудования	Снижение эксплуатационной надежности трубопроводов, осложнение сварки труб, увеличение загустения нефти, повышение вероятности образования асфальтосмолопарафиновых отложений	Промышленные катастрофы, увеличение потребностей в тепловой энергии	Увеличение пиковых нагрузок	Изменение условий эксплуатации, увеличение потребностей в тепловой энергии
Осадки	Избыток (CWD, R10, R20)	Наводнения, заболачивание территорий	Усиление коррозии, смещение и движение горных пород, размыв берегов	Паводки и наводнения, влажностные деформации	Водная опасность	Наводнения, выход из строя блоков ГЭС
	Дефицит (CDD)	Уменьшение доступности воды, перебои с энергоснабжением	Пожары, разгерметизация трубопроводов, экологические последствия	Перерывы в технологических процессах, сокращение водных запасов, ухудшение качества воды	Дефицит водных ресурсов	Снижение притока воды в водохранилище, сокращение производства гидроэлектроэнергии

Общие капитальные вложения в разработку месторождений нефти и газа во многом зависят от климатических условий, с учетом которых осуществляется выбор типов сооружений и оборудования для проведения поисково-разведочных и эксплуатационных работ. В летний период высокие температуры воздуха влекут риски падения мощности компрессорных станций и уменьшения добычи углеводородов. С другой стороны, предельно низкие для данной территории температуры воздуха могут приводить к аварийным ситуациям. По данным [15], вероятность возможных аварий и прекращения работ на буровых установках из-за низкой температуры воздуха в Томской области составляет 2—5%, в Ямало-Ненецком АО — 4—10%. Неблагоприятные последствия, связанные с воздействием экстремальных температур воздуха, ужесточаются длительностью их сохранения. Продолжительные периоды с высокими (индекс WSDI) или низкими (индекс CSDI) температурами могут привести к ухудшению состояния дорожного покрытия, создать проблемы для работ на открытом воздухе, привести к ухудшению самочувствия людей и к случаям смертности.

В России примерно 90% добычи газа и около 75% — нефти приходится на зоны вечной мерзлоты. На фоне потепления климата температура верхнего слоя вечной мерзлоты неуклонно повышается, что может способствовать изменению несущей способности грунтов, возникновению аварий, частичному повреждению инфраструктуры объектов, потере устойчивости фундаментов. Последствия реализации рисков, обусловленных климатическими экстремумами, могут проявляться в виде незапланированных расходов, связанных с выплатой компенсаций персоналу, устранением последствий аварий, ремонтом оборудования. Превентивные меры предполагают дополнительные расходы, направленные на исключение возникновения опасных процессов и явлений. Проектной документацией должны быть предусмотрены технические решения, максимально сохраняющие природное состояние грунтов с учетом возможных климатических изменений.

Например, на объектах, расположенных в зоне вечной мерзлоты, для обеспечения термостабилизации грунтов (перевод пластичномерзлых грунтов

в твердомерзлое состояние и последующее поддержание его в течение периода эксплуатации) могут применяться индивидуальные анкерные и вертикальные сезоннодействующие устройства. Для сохранения грунтов оснований в мерзлом состоянии предусматривается создание сооружений с проветриваемыми подпольями, использование теплоизоляционных экранов и т. д.

Особое внимание климатическим рискам необходимо уделять при проектировании и эксплуатации нефте- и газопроводов (подводящих, магистральных и распределительных подземных, наземных, надземных, подводных). Отрицательные температуры повышают вероятность образования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), которые затрудняют или останавливают добычу и транспортировку углеводородов. Зимой при низкой температуре воздуха возможно образование гидратных пробок (гидратных соединений углеводородов с водой). Так, например, наличие кристаллогидратной пробки из-за несоблюдения рабочих параметров в технологическом трубопроводе стало причиной аварии на Юбилейном нефтегазоконденсатном месторождении 26 февраля 2021 г.⁹ Мероприятия по устранению и предупреждению причин аварий предполагают дополнительные расходы, связанные с обучением и инструктажем персонала, использованием технологического оборудования, оснащенного контрольно-измерительными приборами, электрообогрев и ремонт трубопроводов и т. д. С другой стороны, в условиях вечной мерзлоты повышение температуры воздуха может вызвать уменьшение прочности многолетнемерзлых грунтов и интенсификацию геокриологических процессов, таких как оползневые процессы, сезонное пучение, термокарст, просадки почвы и т. д., что не может не сказаться на состоянии трубопроводов.

Важное значение для объектов нефтегазовой отрасли имеет также режим атмосферных осадков. На фоне роста характеристик увлажнения (индексы WSDI, R10 и R20) эксплуатационная надежность трубопроводов снижается. На фоне

⁹ Надзор за объектами нефтегазового комплекса. Уроки, извлеченные из аварий // Ростехнадзор. 2021.

повышенной влажности воздуха на трубопроводах может достаточно быстро развиваться коррозия, приводящая к аварийным ситуациям, утечкам и разливам топлива. Для защиты труб от коррозии и любых механических повреждений применяется специальная изоляция, которую наносят не только снаружи, но и внутри. Кроме того, используются ингибиторы коррозии, введение которых в скважину или в трубу способствует формированию защитной пленки на стенках и значительно снижает скорость коррозии. Выход из строя средств гидроизоляции и электрохимической защиты трубопроводов от коррозии также может стать причиной аварий (например, авария в Кабардино-Балкарской Республике 19 декабря 2019 г. — в результате сквозной коррозии нарушение целостности стального подземного распределительного газопровода). Сильные осадки могут вызвать размыв берегов и способствовать «сходу» трубопроводов с поймы в русло реки. Кроме того, в районах избыточного увлажнения активизируются процессы заболачивания.

Последствия реализации рисков, связанных с климатическими изменениями, проявляются не только в виде незапланированных убытков, направленных на ликвидацию результатов негативного воздействия, но и в нарушении поставок энергоносителей. Любая крупная авария на трубопроводе, а тем более на их пересечении, может привести к сокращению поставок нефти и газа потребителю и негативным образом сказаться на работе тепловых электростанций (ТЭС), которые являются основными потребителями природного газа в России (около 40% всего потребления газа). Использование подземных хранилищ газа (ПХГ) как неотъемлемой части Единой системы газоснабжения России (ЕСГ) позволяет регулировать потребление газа и снижать риски пиковых нагрузок на ЕСГ.

Важным элементом деятельности нефтегазового комплекса является электроэнергетика. На безопасность функционирования электростанций изменение режима температуры и осадков оказывает решающее влияние. Аномальная жара может потребовать снижения мощности энергоблоков. На фоне изменения климатических условий, уве-

личения повторяемости и интенсивности экстремальных явлений меняются стоимость гидроэнергетических проектов и условия эксплуатации ГЭС. Особое значение для гидроэнергетики имеет гидрологический режим рек, который, в свою очередь, зависит от продолжительности и интенсивности осадков. Так, изменение в месячных суммах осадков на 1% в среднем вызывает 1%-е изменение в выработке электроэнергии на ГЭС [16]. Зависимость различных отраслей экономики от климата учтена во многих нормативных величинах [17, 18]. Однако необычно высокие темпы роста климатических изменений требуют пересмотра имеющихся климатических норм с учетом увеличения повторяемости, продолжительности и интенсивности экстремальных явлений.

3. Региональные особенности изменений экстремумов

В различных регионах земного шара изменения климата проявляются по-разному. На территории Российской Федерации, расположенной в различных климатических зонах, спектр климатических изменений и проявлений экстремальных метеорологических явлений особенно велик. Анализ пространственного распределения критерия Манна — Кендалла U для индекса WSDI (волны тепла) на территории СНГ (рис. 1а) позволяет сделать вывод, что для большинства регионов, за исключением северо-востока европейской территории, юга Западной Сибири и востока Казахстана, тенденция увеличения продолжительности волн тепла в период с 1961 по 2020 г. является статистически значимой ($U > 1,96$). В то же время имеются региональные особенности. Наиболее значительное увеличение продолжительности волн тепла (с точки зрения параметра WSDI, рис. 1б) отмечается на западе и юге Европейской России, на западе Казахстана и Узбекистана, в Восточной Сибири, в отдельных районах Якутии и Чукотки, где вероятности превышения норм 1961—1990 гг. составляют 0,8—0,9. При этом на юго-западе европейской территории, юге Восточной Сибири, в отдельных районах Якутии и Чукотки увеличивается не только продолжительность, но и интенсивность (с точки зрения параметров SU25 — рис. 1в и 1г)

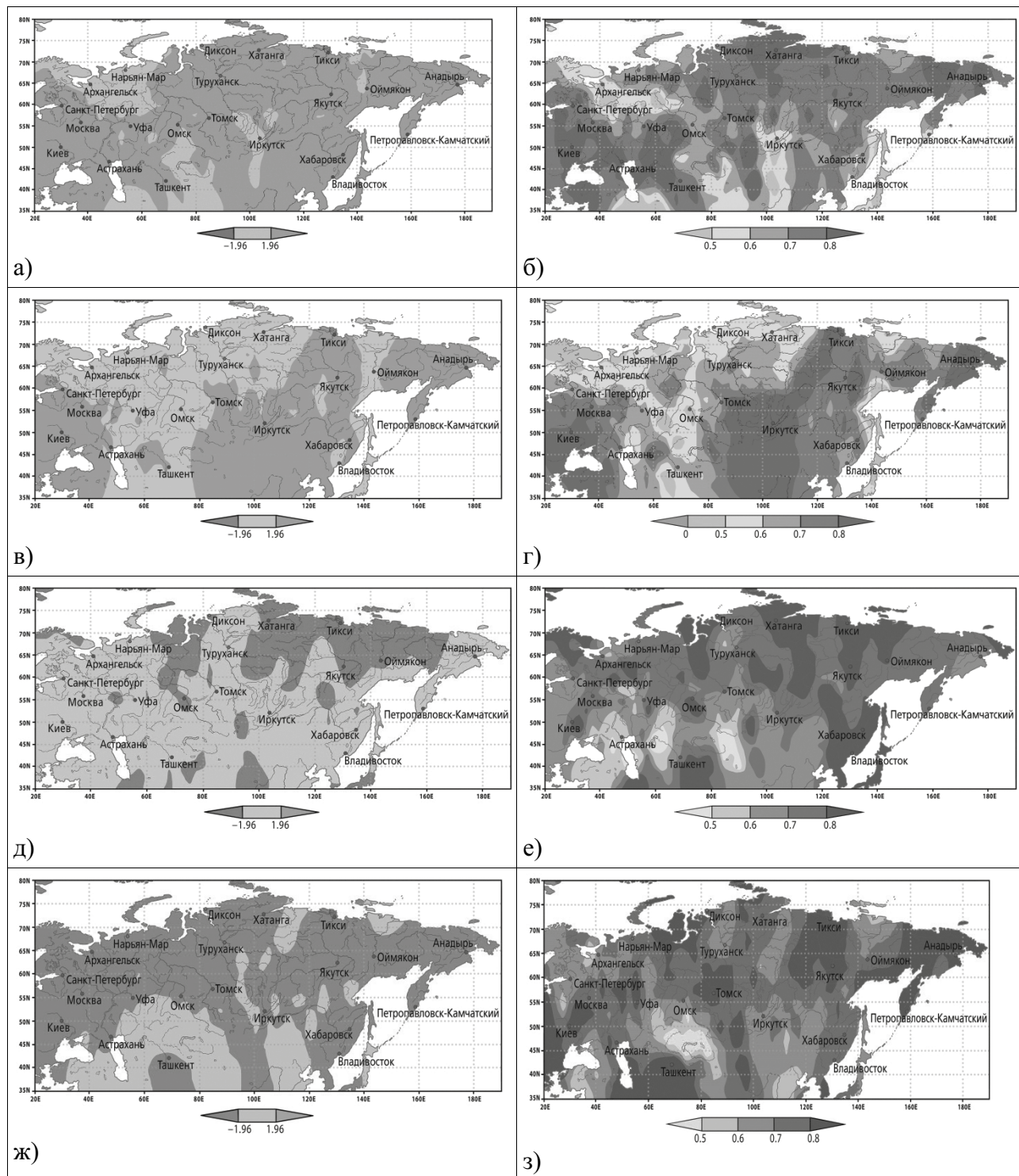


Рис. 1. Карты пространственного распределения критерия U (1961—2020 гг.) для индексов WSDI (а), SU25 (в), CSDI (д) и ID (ж) и вероятностей превышения в период 1991—2020 гг. норм 1961—1990 гг. для индексов WSDI (б), SU25 (г) и уменьшения для индексов CSDI (е) и ID (з)

Figure 1. Maps of the spatial distribution of the U criterion (1961—2020) for the WSDI (a), SU25 (c), CSDI (e) and ID (g) indices and the exceedance probabilities in the period 1991—2020. 1961—1990 norms for WSDI (b), SU25 (d) indices and reductions for CSDI (e) and ID (h) indices

волн тепла. В арктических регионах Сибири и Дальнего Востока потеплению климата способствует не только увеличение продолжительности волн тепла, но и уменьшение продолжительности волн холода (индекс CSDI) (рис. 1д и 1е). Тенденция уменьшения продолжительности безморозного периода (1961—2020 гг.) является статистически значимой практически на всей территории СНГ, за исключением Казахстана и юга Западной Сибири (рис. 1ж и 1з).

Существенные изменения на территории СНГ с точки зрения климатических индексов отмечаются и в режиме атмосферных осадков. Основные тенденции увеличения (уменьшения) количества осадков, отмеченные в [19] для годовых сумм осадков, находят отражение в изменениях климатических индексов. На рис. 2 приводятся результаты квартильного анализа временных рядов климатических индексов, выполненного для станций, расположенных в различных географических регионах СНГ, отдельно для двух периодов 1961—1990 и 1991—2020 гг.

Как видно, отмечаются существенные изменения не только средних значений индексов (с точки зрения медианы распределения) и изменчивости (с точки зрения внутриквартильного размаха), но и границ верхних и нижних экстремумов, а также выбросов в 1990—2020 гг. по сравнению с 1961—1990 гг.

Преобладающие отрицательные тенденции в изменениях индекса CDD и положительные в изменениях индексов CWD и R10 и R20 свидетельствуют об увеличении продолжительности и интенсивности осадков на большей части территории СНГ. Наиболее заметные положительные тенденции прослеживаются на севере Сибири (рис. 2а и 2б), северо-западе Европейской России (рис. 2в) и Охотском побережье Магаданской области (рис. 2г). Увеличение количества осадков, с одной стороны, может привести к затоплению объектов, расположенных вблизи ГЭС, а с другой — благоприятным образом повлиять на выработку электроэнергии. В то же время на юге европейской территории возрастают риски и угрозы, связанные с засухами, что находит отражение в положительных тенденциях изменения максимальной непрерывной продолжительности

сухих периодов (индекс CDD, рис. 2д) и отрицательных — индекса R20 (рис. 2е).

На рис. 3 ориентировочно указаны наиболее уязвимые к изменениям климатических индексов (WSDI, CSDI, SU25, ID, CDD, CWD и R10) географические регионы СНГ. Рейтинг регионов оценивался с точки зрения отношения норм климатических индексов, рассчитанных для двух периодов: 1961—1990 гг. и 1991—2020 гг. Уровень опасности определялся качественным образом в зависимости от показаний всего комплекса рассматриваемых индексов. Красным цветом выделены регионы, где уровень потенциального риска — высокий, зеленым — низкий. Положительные и отрицательные изменения температуры (осадков), идентифицированные данными индексами, обозначены соответственно красным (зеленым) и синим (желтым) цветом. Как видно, наиболее уязвимыми к изменению климатических экстремумов оказываются южные, юго-западные регионы СНГ (включая юг Европейской России), а также северные территории Сибири и Дальнего Востока. При этом площадь территории, находящейся в зоне потенциальной опасности, значительно превышает площадь индифферентной к изменениям индексов территории.

В южных регионах европейской территории ключевыми являются риски, связанные с увеличением числа и интенсивности засух, опустыниванием земель, с дефицитом водных ресурсов. На этом фоне важной проблемой становится доступность водных ресурсов, необходимых для обеспечения полноценных технологических процессов в нефтегазовой промышленности (охлаждение оборудования, подпитка котлов, обессоливание нефти, получение пара для подачи в скважины для снижения вязкости нефти; хозяйственно-бытовые нужды; конденсация и охлаждение продуктов; приготовление растворов, эмульсий, подпитка котлов и т. д.), а также охлаждения многих типов ТЭС и АЭС. По мере дальнейшего потепления климата эти угрозы будут только расти.

В Западной Сибири, где находятся стратегически важные нефтегазоносные регионы России, наиболее значительные изменения климатических экстремумов отмечаются на севере. При этом возрастают риски увеличения количества чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий, что требует повышенного

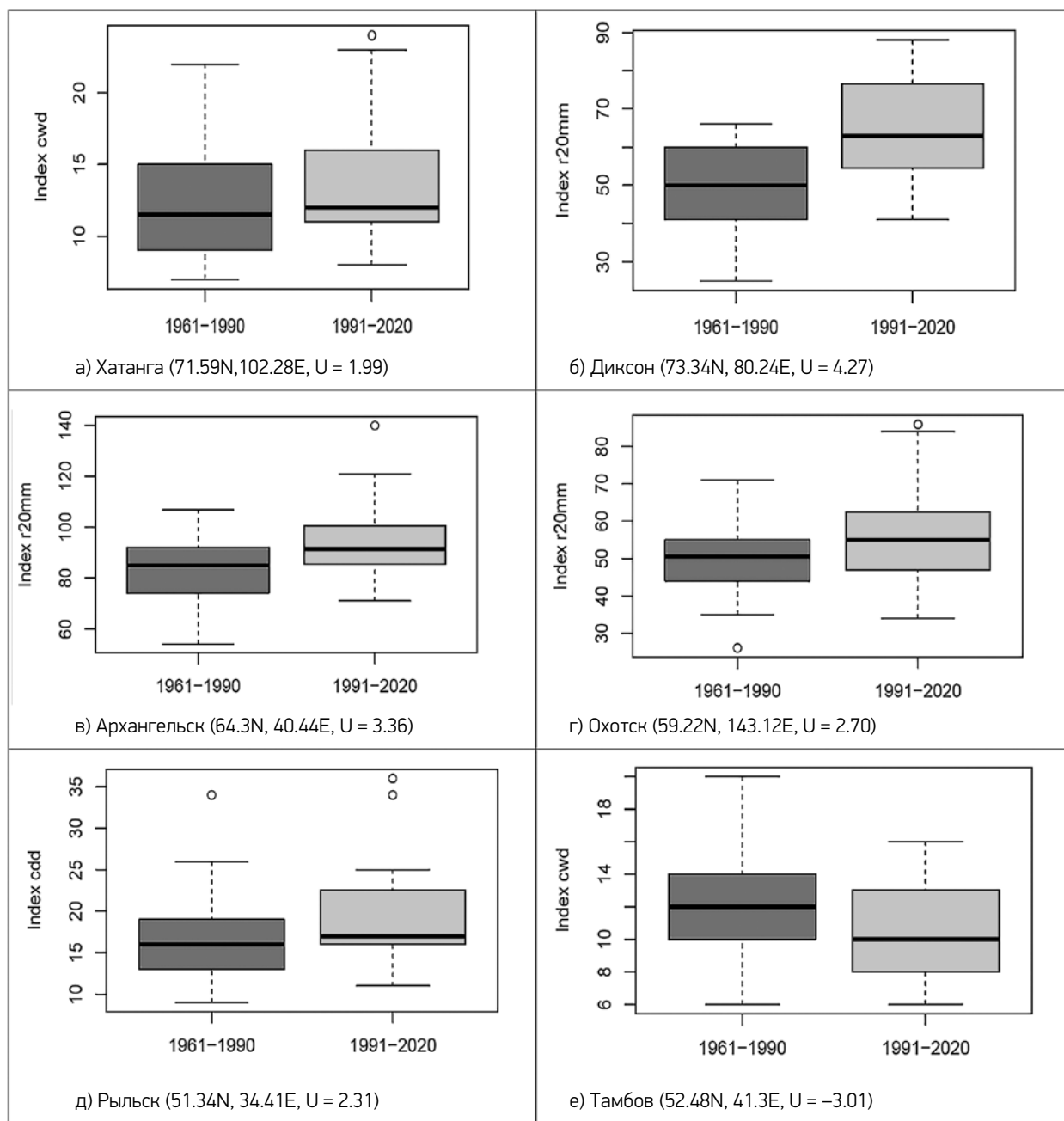


Рис. 2. Квартильный анализ климатических индексов, характеризующих осадки на станциях, выполненный для двух периодов: 1961—1990 гг. и 1990—2020 гг. (30 случаев). При $U \geq 1,96$ и $U \leq -1,96$ различия статистически значимы (в пределах 5%-го уровня значимости)

Figure 2. Comparison of boxplots of climatic indices characterized the precipitations at stations performed for two periods: 1961—1990 and 1990—2020 (30 cases). A trend was considered statistically significant (at P-value ≤ 0.05) when the Mann — Kendall (MK) statistics U was either ≥ 1.96 or ≤ -1.96 (5% level of significance)

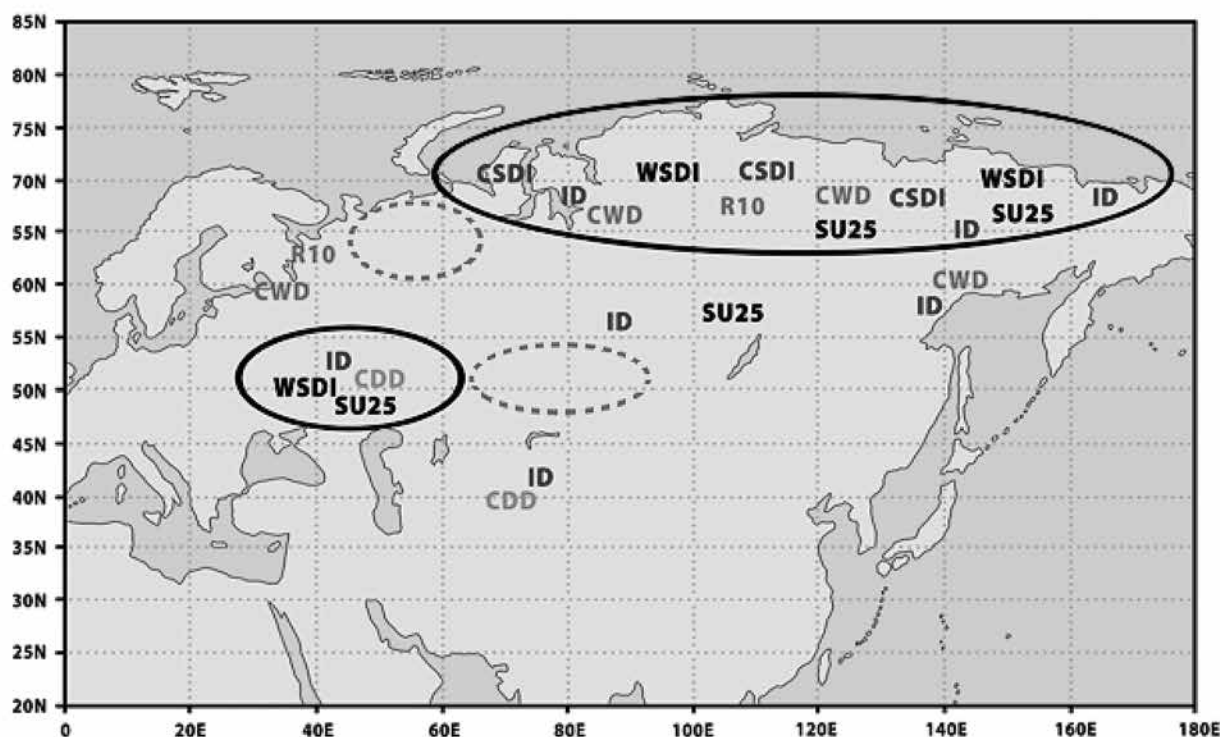


Рис. 3. Наиболее (выделены сплошной линией) и наименее (выделены прерывистой линией) уязвимые к изменению экстремальных характеристик климата регионы СНГ

Figure 3. The most (highlighted with solid line) and least (highlighted with broken line) regions of the CIS that are vulnerable to changes in extreme climate characteristics

внимания и дополнительных вложений в сферы технологической безопасности производственных мощностей и инфраструктуры. Южные регионы Западной Сибири имеют более устойчивый климат и менее подвержены природным катаклизмам и стихийным бедствиям, чем северные. Однако случающиеся аномально высокие или низкие уровни температур и здесь могут осложнить работу предприятий нефтегазовых компаний.

В Восточной Сибири и в Якутии сохраняется устойчивая тенденция к увеличению глубины оттаивания вечной мерзлоты, что может приводить к неравномерным просадкам грунтов и разрушению соответствующей инфраструктуры. С потеплением климата в этих регионах возрастает частота лесных пожаров, зоны которых год от года неуклонно рас-

ширяются в сторону Арктики. Лесные пожары ведут к непредсказуемому усилению деградации многолетней мерзлоты. Риски, связанные с деградацией вечной мерзлоты в процессе потепления климата, необходимо учитывать на всех стадиях проектирования и реализации нефтегазовых проектов. Сложность проблемы связана со значительной динамичностью многолетнемерзлых пород: они могут изменять конфигурацию, исчезать и возникать в течение нескольких лет [20].

На фоне потепления климата для нефтегазовой отрасли открываются новые благоприятные возможности, среди которых нельзя не отметить смягчение суровых северных климатических условий. Увеличение продолжительности навигации по Северному морскому пути обеспечит экономию

и преимущество в освоении нефтегазовых месторождений на шельфе; за счет сокращения продолжительности отопительного сезона снизится расход энергии. Как отмечается в указе Президента Российской Федерации В. В. Путина¹⁰, климатические изменения в Арктической зоне способствуют возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды.

Изменения климатических экстремумов, характеризующих повторяемость и интенсивность опасных метеорологических явлений, определяют повышенную (пониженную) степень уязвимости различных регионов Российской Федерации к изменениям климата. Данные обстоятельства, а также другие особенности изменений климата необходимо учитывать при разработке адаптационных программ на национальном и региональном уровнях, особенно в связи с разработкой Национального плана адаптации к изменениям климата (НПА) [21].

Заключение

Беспрецедентные темпы глобального потепления климата, а также рост повторяемости, интенсивности и продолжительности опасных явлений создают новые проблемы и риски для нефтегазовой отрасли [22]. Статистически значимые тренды климатических экстремумов наблюдаются на большей части территории СНГ. Наиболее уязвимыми являются южные районы европейской части России, а также северные территории Сибири и Дальнего Востока, где сосредоточены большое количество объектов и основная часть предприятий российского нефтегазового сектора, а также планируется осуществить ряд новых крупных проектов.

Риски, связанные с климатическими экстремумами, могут существенно осложнить реализацию любой стадии нефтегазового проекта: начиная с геологоразведочных работ и освоения месторождений до поставок готовой продукции конечному потребителю. В последние десятилетия на отрасль

приходится большое количество аварий и повреждений нефтяной и газовой инфраструктуры, связанных с изменением климата.

В сложившейся ситуации особое значение приобретает эффективное использование климатической информации с целью снижения уязвимости и управления рисками, связанными с климатом («знания о климате как основа для действий»). Возникает необходимость пересмотра нормативных величин с учетом увеличения повторяемости, продолжительности и интенсивности экстремальных явлений. Решение проблемы требует тесного сотрудничества специалистов различных отраслей знаний (климатологии, экономики, техники, органов государственной власти).

По мнению авторов [23], основные усилия (пока необратимые изменения климата не приобрели катастрофический для планеты характер) должны быть направлены на борьбу не с последствиями климатического воздействия, а с их причинами на базе широкого сотрудничества ученых и практиков на национальном и международном уровнях. В последние годы нефтегазовые компании, осознавая особую ответственность за выбросы парниковых газов, все чаще декларируют цели, направленные на снижение эмиссий парниковых газов, повышение энергоэффективности и внедрение низкоуглеродных технологий.

Ориентирами для отрасли призваны стать утвержденная Правительством Российской Федерации «Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.», а также подписанный распоряжением правительства в декабре 2019 г. Национальный план адаптации к изменениям климата (НПА)¹¹, определяющий меры экономического и социального характера, направленные на уменьшение уязвимости населения России, экономики и природных объектов к последствиям изменений климата, а также использование благоприятных возможностей, обусловленных такими изменениями. Реализация поставленных в плане

¹⁰ Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г.».

¹¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р «Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г.».

задач должна снизить ущерб от изменений климата, если не в настоящее время, то в ближайшем будущем.

Литература [References]

1. Быков А. А., Башкин В. Н. Об экстремальных природных явлениях и оценке природных и экологических рисков // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 3. С. 4—5, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-3-4-5> [Bykov A. A., Bashkin V. N. On extreme natural phenomena and the assessment of natural and environmental risks // Issues of Risk Analysis. 2018;15(3)4-5 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2018-15-3-4-5>]
2. United in Science 2020. Global Climate in 2016—2020. WMO. URL: https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science (Accessed / Дата обращения: 30.08.2021).
3. О рекомендациях по раскрытию публичными акционерными обществами нефинансовой информации, связанной с деятельностью таких обществ. Информационное письмо Банка России. М.: Банк России, 2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401402234/> (Дата обращения: 30.08.2021). [About recommendations for disclosure by public joint stock companies of non-financial information related to the activities of such companies. Information letter from the Bank of Russia. Moscow: Bank of Russia, 2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/401402234/> (Accessed: 30.08.2021) (In Russ.)]
4. Соколов Ю. И. Риски глобального изменения климата // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 3. С. 32—45, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-3-32-45> [Sokolov Yu. I. Risks of global climate change // Issues of risk analysis. 2021;18(3):32-45 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-3-32-45>]
5. Григорьева Е. А., Ревич Б. А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в 2010—2020 гг. Ч. 2. Наводнения, тайфуны, ледяной дождь, засухи // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 3. С. 10—31, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-3-10-31> [Grigorieva E. A., Revich B. A. Health risks to the russian population from weather extremes in 2010—2020. Part 2. Floods, typhoons, ice rain, droughts // Issues of risk analysis. 2021;18(3):10-31 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-3-10-31>]
6. Ревич Б. А., Григорьева Е. А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1. Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 12—33, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33> [Revich B. A., Grigorieva E. A. Health risks to the russian population from weather extremes in the beginning of the XXI century. Part 1. Heat and cold waves // Issues of risk analysis. 2021;18(2):12-33 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-12-33>]
7. Lisa V. Alexander. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. Weather and Climate Extremes. Vol. 11, 2015, doi:10.1016/j.wace.2015.10.007
8. Руководство по гидрологической практике. Т. 1. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. ВМО-№168. 2011. 314 с. URL: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/docs/Publicacii_i_knigi/168_Vol_I_ru.pdf [Guide to Hydrological Practice. Volume I. Hydrology: from measurements to hydrological information. VMO-№168, Sixth edition, 2011. 314 p. (In Russ.), URL: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/docs/Publicacii_i_knigi/168_Vol_I_ru.pdf]
9. Yi K, Tani H, Zhang J, Guo M, Wang X, Zhong G. Long-Term Satellite Detection of Post-Fire Vegetation Trends in Boreal Forests of China. Remote Sensing. 2013; 5(12):6938-6957, <https://doi.org/10.3390/rs5126938>
10. Wilks D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. London, Academic Press, 2011. 676 p.
11. Руководство для эмитента: как соответствовать лучшим практикам устойчивого развития. М.: Московская биржа, 2021. 216 с. URL: <https://fs.moex.com/f/15022/esg.pdf> (Дата обращения: 30.08.2021). [Guidelines for the issuer: how to comply with the best sustainable development practices. М.: Moscow Exchange, 2021, 216 p. (In Russ.). URL: <https://fs.moex.com/f/15022/esg.pdf> (Accessed: 30.08.2021)].
12. G20 Green Finance Synthesis Report. G20 Green Finance Study Group, 2016. p. 35. URL: <http://www.g20.utoronto.ca/2016/green-finance-synthesis.pdf> (Accessed / Дата обращения: 30.08.2021).

13. Влияние климатических рисков и устойчивое развитие финансового сектора Российской Федерации. Доклад для общественных консультаций. М.: Банк России, 2020. 35 с. URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/108263/Consultation_Paper_200608.pdf (Дата обращения: 30.08.2021). [The impact of climate risks and sustainable development of the financial sector of the Russian Federation. Public Consultation Report. Moscow: Bank of Russia, 2020. 35 p. (In Russ.), URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/108263/Consultation_Paper_200608.pdf (Accessed: 30.08.2021)].
14. Михеев П. Н. О подходах к учету рисков изменения климатических условий при планировании и реализации нефтегазовых проектов // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 1. С. 52—65, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-1-52-65> [Mikheev P. N. On Approaches to Taking into Account the Risks of Changing Climatic Conditions when Planning and Implementing Oil and Gas Projects // Issues of risk analysis. 2021;18(1):52-65 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-1-52-65>]
15. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Семенов С. М., научный редактор. М.: Росгидромет, 2012. 512 с. [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems / Semenov S. M., scientific editor. M.: Roshydromet, 2012. 512 p. (In Russ.)]
16. Н. В. Кобышева [и др.] Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Под ред. Н. В. Кобышевой, К. Ш. Хайруллина. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 319 с., ISBN 5-286-01444-5 [Kobysheva N. V. [et al.] / Ed. N. V. Kobysheva, K. Sh. Khairullin Encyclopedia of climatic resources of the Russian Federation. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. 319 p. (In Russ.), ISBN 5-286-01444-5]
17. Свод правил СП131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. М.: Минрегион России, 2012. 386 с. [Code of practice SP131.13330.2012. Construction climatology. Updated edition of SNiP 23-01-99. M. Minreg. of Russia, 2012. 386 p. (In Russ.)]
18. Свод правил СП20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. М.: Минрегион России, 2011. 96 с. [Code of rules SP20.13330.2011. Loads and impacts. Updated edition of SNiP 2.01.07-85. M.: Minreg. of Russia, 2011. 96 p. (In Russ.)]
19. Сводное ежегодное сообщение о состоянии и изменении климата на территории государств — участников СНГ за 2020 г. URL: <http://seakc.meteoinfo.ru/images/seakc/monitoring/cis-climate-2019.pdf> (Дата обращения: 30.08.2021). [Consolidated annual report on the state and climate change in the territory of the CIS member states for 2019 ((In Russ.). URL: <http://seakc.meteoinfo.ru/images/seakc/monitoring/cis-climate-2019.pdf> (Accessed: 30.08.2021)].
20. Евсеева Н. С. География Томской области (Природные условия и ресурсы) / Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. 223 с. ISBN 5-7511-1930-X [Evseeva N. S. Geography of the Tomsk region (Natural conditions and resources). Tomsk: Publishing House of Tomsk University. 2001. 223 p. (In Russ.)]
21. Катцов В. М., Хлебникова Е. И., Школьник И. М., Рудакова Ю. Л. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике РФ // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 46—58. [Kattsov V. M., Khlebnikova E. I., Shkolnik I. M., Rudakova Y. L. Probabilistic regional climate projecting as a basis for the development of adaptation programs for the economy of the Russian Federation // Russian Meteorology and Hydrology. 2020. T. 45. No 5. P. 330—338, (In Russ.), <https://doi.org/10.3103/S1068373920050039>]
22. Михеев П. Н. Риски перехода к низкоуглеродной экономике: угрозы и возможности для нефтегазовой отрасли // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 34—42, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-34-42> [Mikheev P. N. Transition to a low carbon economy in the context of the oil and gas industry // Issues of Risk Analysis. 2021;18(2):34-42 (In Russ.), <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-34-42>]

23. Яковлева Е. Н., Яшалова Н. Н., Рубан Д. А., Васильцов В. С. Методические подходы к оценке природно-климатических рисков в целях устойчивого развития государства // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 52. С. 120—137. [Yakovleva E. N., Yashalova N. N., Ruban D. A., Vasiltssov V. S. Methodological approaches to valuation of natural-climatic risks for the purposes of country's sustainable development // Uchenye zapiski RGGMU. 2018. No. 52. P. 120—137 (In Russ.)]

Сведения об авторе

Михеев Петр Николаевич: член Русского общества управления рисками, дипломированный внутренний аудитор (Certified Internal Auditor, CIA), профессиональный риск-менеджер (Professional Risk Manager, PRM)

Количество публикаций: более 10

Область научных интересов: внутренний контроль и управление рисками

ResearcherID: AAE-9530-2021

ORCID: 0000-0002-8640-1950

Science Index (SPIN-код): 2941-3919

Контактная информация:

Адрес: 119602, г. Москва, Никулинская ул., д. 27/129

pmikheev@gmail.com

Статья поступила в редакцию: 11.11.2021

Одобрена после рецензирования: 22.11.2021

Принята к публикации: 25.11.2021

Дата публикации: 30.12.2021

The article was submitted: 11.11.2021

Approved after reviewing: 22.11.2021

Accepted for publication: 25.11.2021

Date of publication: 30.12.2021