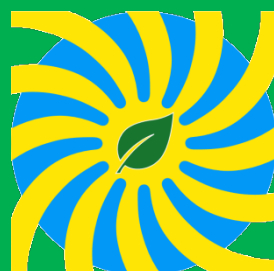




2023
№3(19)

Окружающая среда и энергосбережение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)



<http://www.jeees.ru>

ISSN 2658-6703
(Online)

Окружающая среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

2023 №3(19)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал
Scientific, educational, cultural and educational network Journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and
information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации Эл № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Public Knowledge Project, Open Archives Initiative, OpenAIRE



Главный редактор

Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зам. главного редактора

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н
(МГУ им. М. В. Ломоносова)

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ
РАН)

Ответственный секретарь

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.
(ИО РАН).

Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь РИА
(МЭИ)

Березкин Михаил Юрьевич, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор, член-
корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, к.геогр.н (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.геогр.н., профессор, член-
корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).

Залиханов Алим Михайлович, к.геогр.н, (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М. В.
Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.геогр.н., профессор (МГУ
им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of
Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор,
академик РАН (ИО РАН).

Панченко Владимир Анатольевич, к.т.н., доцент (Российский
университет транспорта (МИИТ))

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профессор
(МГУ им. М. В. Ломоносова).

Рафикова Юлия Юрьевна, к.геогр.н. (МГУ им. М.В.
Ломоносова)

Соловьев Дмитрий Александрович, к.физ.-мат.н.,
ответственный секретарь (ИО РАН).

Тикунов Владимир Сергеевич, д.геогр.н., профессор (МГУ им.
М. В. Ломоносова).

Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ
возобновляемых источников энергии географического
факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
Тел./ факс +7 (499) 939-42-57
e-mail: info@jeees.ru

Официальный сайт журнала <http://jeees.ru>

Окружающая

среда и энерговедение. 2023 №3(19)

Научный, образовательный, культурно-просветительский
сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев

Корректор К.Г.Горошкин

Верстка М.Ю.Березкин

Перевод на английский язык

К.С.Дегтярев

Подписан в свет 01.11.2023.

Издатель:

ООО "Глобализация и устойчивое развитие. Институт
энергетической стратегии"

125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011.

Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Перепечатка или воспроизведение материалов
номера любым способом полностью или по частям
допускается только с письменного разрешения Издателя.

Учредитель: Соловьев Д.А.

© Редакция журнала

«Окружающая среда и энерговедение», 2023

Государственный Рубрикатор НТИ России
(ГРНТИ): 37; 39; 44; 45

Содержание

Бушуев В. В., Зайченко В. М., Моргунова М. О. Интегрированные энергетические решения: оценка перспектив гидроэнергетического комплекса южной Якутии для экспорта в Северный Китай.....	4
Бушуев В. В., Соловьев Д. А. Учет факторов изменения климата при прогнозировании цен на природный газ в ЕС.....	16
Криницкий М. А. ИИ и океан: отчет о выступлении Михаила Криницкого на конференции AI IN2023.....	33
Пенджиев А. М. Возобновляемая энергетика и изменение климата.....	39
Саенко В. В., Колпаков А. Ю. Систематизация ключевых направлений и индикаторов адаптации отраслей топливно-энергетического комплекса России к последствиям климатических изменений.....	50

Content

Bushuev V.V., Zaychenko V.M., Morgunova M.O. Integrated Energy Solutions: Assessment of the Prospects of the South Yakutia Hydroelectric Complex for Export to Northern China.....	4
Bushuev V.V., Solovyev D.A. Accounting for Climate Change Factors in Forecasting Natural Gas Prices in the EU.....	16
Krinitsky M.A. AI and the Ocean: Report on Mikhail Krinitsky's Presentation at AI IN2023 Conference.....	33
Pendzhiev A.M. Impact of Renewable Energy Sources on Climate Change.....	39
Saenko V.V., Kolpakov A.Y. Systematization of Key Directions and Indicators for the Adaptation of the Russian Fuel and Energy Sector to the Consequences of Climate Change.....	50

УДК 621.22:339.5(571.56)(510).

DOI: 10.5281/zenodo.10065941

Интегрированные энергетические решения: оценка перспектив гидроэнергетического комплекса южной Якутии для экспорта в Северный Китай

¹Бушуев Виталий Васильевич^[0000-0001-9288-4699]¹Зайченко Виктор Михайлович^[0000-0002-5979-4234]¹Моргунова Мария Олеговна^[0000-0001-5591-3067]

¹Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),
г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru, zaitch@oivtran.ru,
maymorgunova@rambler.ru

Аннотация. В статье исследуются перспективы развития Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса (ЮЯГЭК) и его потенциальное воздействие на энергетическую систему Северного Китая. Статья анализирует технические и экономические аспекты экспорта электроэнергии из Южной Якутии в Китай, оценивает различные варианты передачи электроэнергии и исследует вопрос покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая с использованием мощностей ЮЯГЭК. Исследование показывает, что ЮЯГЭК обладает значительным потенциалом для обеспечения электроэнергией не только своего региона, но и для экспорта в Северный Китай. Экономический анализ демонстрирует, что использование мощностей ЮЯГЭК для покрытия полупиковой нагрузки в Китае является более выгодным вариантом, чем строительство новых электростанций в Китае. Также подчеркивается важность интеграции гидроэнергетики и электроэнергетических систем для обеспечения стабильного и экологически устойчивого энергоснабжения в регионах с высоким потреблением электроэнергии. Предлагаемое сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем в области энергетики может стать важным шагом в этом направлении и способствовать обеспечению энергетической безопасности и устойчивому развитию обоих регионов.

Ключевые слова: энергетика, гидроэнергетический комплекс, экспорт электроэнергии, Северный Китай, устойчивое развитие.

1 Введение

Современное развитие энергетических систем требует стратегического подхода к удовлетворению растущего спроса на электроэнергию, а также поиска экологически устойчивых и эффективных источников энергии [1]. В этом контексте, гидроэнергетика остается одним из ключевых направлений, способствующих обеспечению стабильного и надежного электроснабжения [2].

Южно-Якутский гидроэнергетический комплекс (ЮЯГЭК) представляет собой амбициозный проект, охватывающий несколько рек региона и направленный на создание мощных гидроэлектростанций. Этот комплекс обладает потенциалом стать ключевым источником энергии не только для региона, но и для экспорта в соседние страны, в частности, в Северный Китай [3].

В настоящей статье мы проведем анализ перспектив развития ЮЯГЭК и его потенциального влияния на энергетическую систему Северного Китая. Мы рассмотрим технические и экономические аспекты экспорта электроэнергии из Южной Якутии в Китай, а также сравним различные варианты покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая с использованием мощностей ЮЯГЭК. Наш анализ позволит оценить эффективность и устойчивость такого сотрудничества в сфере энергетики между двумя регионами.

2 Перспективы развития Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса

ЮЯГЭК представляет собой крупнейший проект по строительству гидроэлектростанций на реках Учур, Тимптон, Алдан и Олекма. По данным Министерства энергетики РФ, ЮЯГЭК может обеспечить энергией не только Якутию, но и соседние регионы, а также экспортировать электричество в Китай и Монголию[4]. В настоящее время ведутся работы по строительству двух первых каскадов ЮЯГЭК: Средне-Учурского и Иджекского. Средне-Учурская ГЭС с Учурской буферной ГЭС будет иметь установленную мощность 3000 МВт и среднегодовую выработку 14,5 ТВт·ч. Иджекская ГЭС с Нижне-Тимптонской буферной ГЭС будет иметь установленную мощность 2000 МВт и среднегодовую выработку 9 ТВт·ч. Планируется, что эти каскады будут запущены в эксплуатацию к 2025 году.

После 2025 года планируется строительство еще трех каскадов: Верхне-Алданского, Алданского и Олекминского. Эти каскады увеличат установленную мощность ЮЯГЭК до 8300 МВт и среднегодовую выработку до 38,8 ТВт·ч. Буферные ГЭС на реках Учур, Тимптон и Алдан будут регулировать режим работы основных ГЭС и снижать воздействие на окружающую среду. ЮЯГЭК является одним из приоритетных проектов в области устойчивого развития России, так как он способствует повышению энергетической безопасности, развитию социально-экономической инфраструктуры и сотрудничеству с другими странами.

Часть электроэнергии, производимой ЮЯГЭК, будет служить делу хозяйственного освоения зоны БАМа, а другая часть может передаваться в Китай.

3 Особенности развития электроэнергетики Китая

Китай богат запасами минерального сырья и энергоресурсов, особенно угля и гидроресурсов, которые распределены очень неравномерно по территории Китая (рис.1). К 2020 году в Китае выработка электроэнергии увеличилась почти в 10 раз по сравнению с 1990 годом [5].

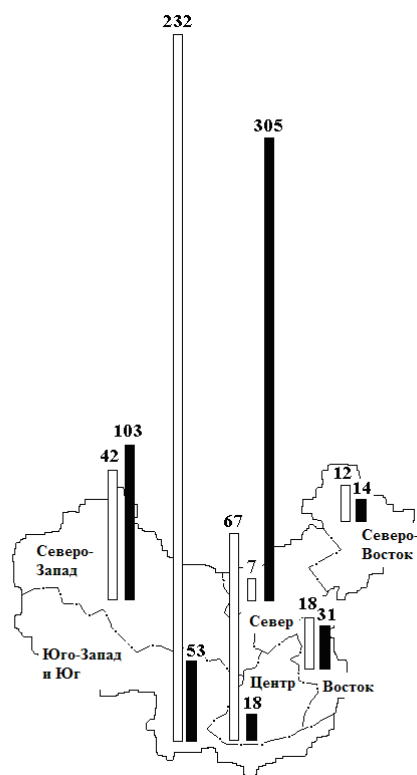


Рис. 1. Распределение запасов энергоресурсов по территории Китая , [5]:

■ - уголь, млрд. т, □ - гидроресурсы, ГВт.

Несмотря на быстрое развитие электроэнергетики Китая, темпы ее роста отстают от темпов роста экономики. Даже при наличии богатых природных запасов энергоресурсов и быстром наращивании энергетических мощностей электроэнергии не хватает во многих частях страны.

Шесть региональных энергосистем (Северо-Восточная, Северная, Восточная, Центральная, Северо-Западная и Южная) обеспечивают основную часть электроснабжения Китая (рис.2). Формирование Единой системы Китая осуществляется на базе линий напряжением 500 кВ переменного тока и ± 500 кВ постоянного тока, а после 2010 года используются следующие классы напряжения 1000 кВ переменного тока и ± 800 кВ постоянного тока.

Северо-Восточная и Северная энергосистемы Китая, наиболее близко расположенные к ОЭС Востока, являются крупными и динамично развивающимися системами [6]. Установленные мощности Северо-Восточной и Северной энергосистем, составлявшие в 1990 году для каждой из них примерно 20 ГВт, достигли в 2003 году соответственно 37,7 ГВт и 87,4 ГВт.

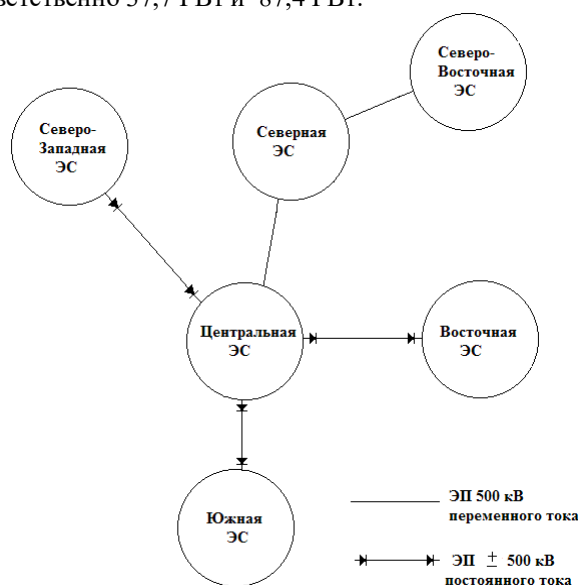


Рис. 2. Структурная схема Единой Энергосистемы Китая, [6]

Как Северо-Восточная, так и Северная энергосистема являются дефицитными по мощности и электроэнергии. Существует и другая проблема, связанная с недостаточной долей ГЭС в этих энергосистемах, что создает трудности в покрытии пиковой и полупиковой зон графика нагрузки. Установленная мощность ГЭС в Северо-Восточной энергосистеме Китая на современном этапе составляет порядка 5,8 ГВт и не превышает 15% от полной установленной мощности этой системы. В то же время доля ГЭС в среднем по Китаю составляет 25%. При этом возможности по сооружению новых ГЭС в этом регионе практически отсутствуют, так что в перспективе доля ГЭС в Северо-Восточной энергосистеме будет продолжать снижаться. Еще острее в этом отношении положение в Северной энергосистеме, в которой доля ГЭС не превышает 4%. Одним из путей, намечае-

мых в этих энергосистемах по решению проблемы покрытия пиковый и полупиковый зон графика нагрузки (2000–4000 часов) является сооружение комплексов из АЭС и ГАЭС.

4 Оценка технико-экономических показателей экспортной электропередачи ЮЯГЭК – Северный Китай

Из вышеприведенного следует, что существует благоприятная долгосрочная ситуация для экспорта электроэнергии в Китай [7]. В ОЭС Востока имеются все предпосылки для создания экспортного потенциала, соизмеримого с дефицитом мощностей ГЭС в Северо-Восточной и Северной энергосистемах Китая. Предварительно можно наметить вариант электрической связи мощностью 6000 МВт с числом часов ее использования 4000 часов, изображенный на рис.3. Протяженность связи составляет порядка 2500 км.



Рис. 3. Электрическая связь ЮЯГЭК – Северная энергосистема Китая

Для передачи намеченной мощности сопоставим варианты ППТ напряжением ± 800 кВ и ПЭП напряжением 1150 кВ [8]. На рис.4 намечены схемы ППТ и ПЭП. Основные технико-экономические показатели вариантов приведены в табл.1.

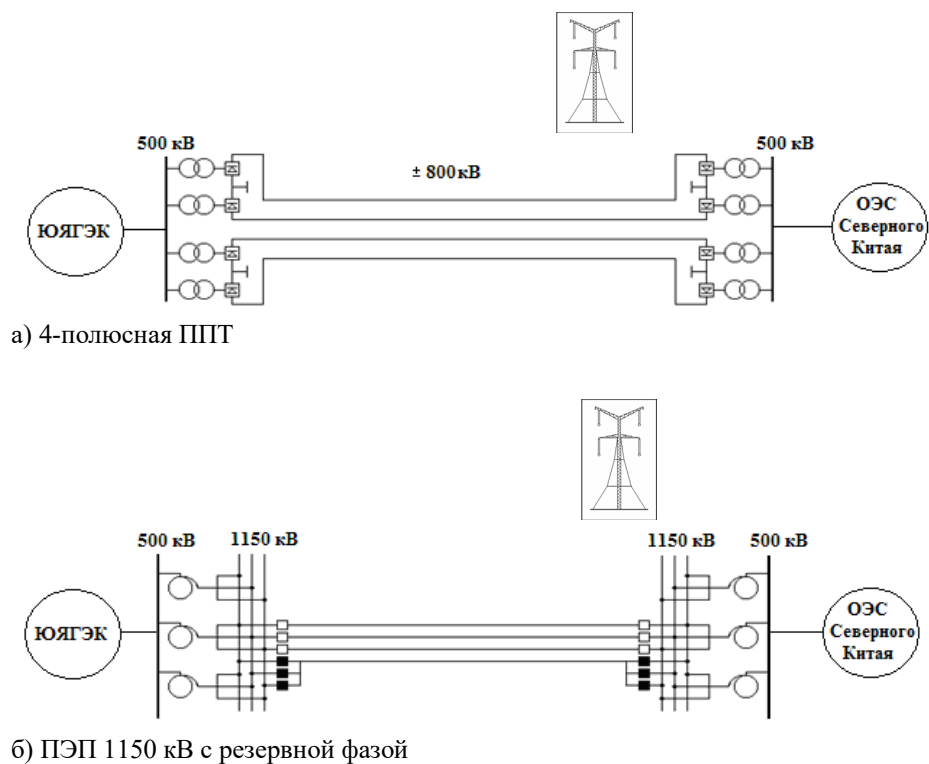


Рис. 4. Принципиальная схема экспортной электропередачи ЮЯГЭК – Северный Китай.

Таблица 1. Сопоставительный анализ надежности и технико-экономических показателей вариантов электрической связи ЮЯГЭК – Северный Китай при передаче 6000 МВт на расстояние 2500 км

Показатели		Переменный ток-1150 кВ	Постоянный ток ± 800 кВ
		Схема с резервной фазой	4-полюсная схема
Конструкция фазы (полюса), мм ²		8×330	4×450
КПД по энергии, %		86,6	87,0
Удельная стоимость ВЛ, тыс.\$/км		588	391
Стоимость, млн.\$	ВЛ	1470	978
	ПС	300	1500
	Всего	1770	2478
Приведенные затраты, млн.\$/год		404	582
Удельные приведенные затраты	цент/ кВт · ч	2,0	2,8
	%	72	100

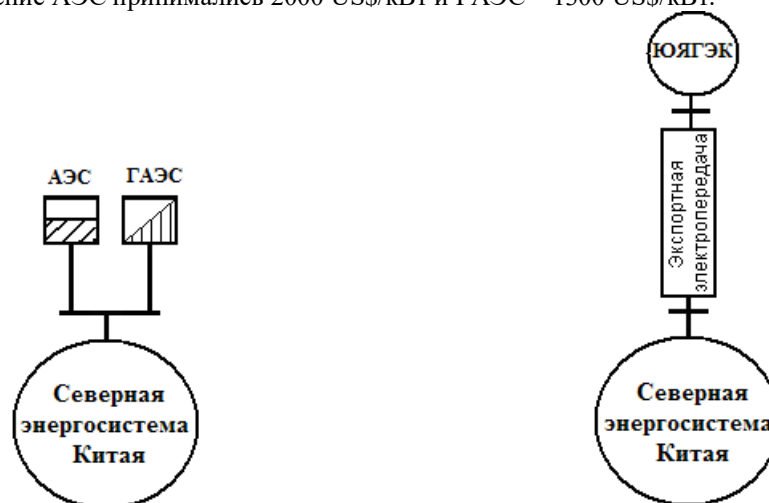
5 Оценка экономической эффективности различных путей покрытия полушиповой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая

Оценка экономической эффективности привлечения мощностей вновь сооружаемых ГЭС ОЭС Востока для покрытия полушиповой зоны графика нагрузки проводится путем сравнения вариантов, показанных на рис.5. В первом варианте решение проблемы покрытия полушиповой зоны графика нагрузки в Северной

энергосистеме Китая решается путем сооружения комплексов из АЭС и ГАЭС (рис.5,а).

Во втором варианте решением указанной проблемы является привлечение мощностей ЮЯГЭК с помощью мощной электропередачи (рис.5,б). При этом принимается, что в обоих вариантах обеспечивается в приемном узле выдача одинаковой мощности и годовой электроэнергии.

При определении удельных затрат на производство электроэнергии на вновь вводимых электростанциях в Китае удельные капиталовложения на сооружение АЭС принимались 2000 US\$/кВт и ГАЭС – 1300 US\$/кВт.



а) комплекс из АЭС и ГАЭС в Китае б) привлечение мощностей ЮЯГЭК.

Рис. 5. Возможные варианты покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая:

Для намечаемых ГЭС ЮЯГЭК удельные капиталовложения на их сооружение составляют порядка 1500 US\$/кВт. В табл.2 приведено экономическое сравнение намеченных вариантов покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая. Из данной таблицы следует, что решение проблемы покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая путем привлечения мощностей ЮЯГЭК предпочтительнее сооружения комплексов из АЭС и ГАЭС в Китае.

Таблица 2. Экономическое сопоставление перспективных вариантов покрытия полупиковой зоны графика нагрузки в Северной энергосистеме Китая

Возможные варианты покрытия полупиковой зоны графика нагрузки	Удельные приведенные затраты цент/кВт·ч		
	Производство электроэнергии	Транспорт электроэнергии	Всего
Производство электроэнергии в Северной энергосистеме Китая	14,2	-	14,2
Производство электроэнергии на вновь вводимых ГЭС ОЭС Востока	7,5	2,0	9,5

6 Заключение и выводы

На основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы:

- Южно-Якутский гидроэнергетический комплекс (ЮЯГЭК) представляет собой значимый ресурс для обеспечения энергетической потребности региона и возможности экспорта электроэнергии в Северный Китай. Его потенциал в создании мощных гидроэлектростанций и обеспечении стабильного производства электроэнергии несомненно.
- Экономический анализ показывает, что привлечение мощностей ЮЯГЭК для покрытия полупиковой нагрузки в Северной энергосистеме Китая более предпочтительно с точки зрения затрат, чем сооружение комплексов из атомных и гидроэлектростанций в Китае. Это может обеспечить более эффективное использование ресурсов и содействовать стабильности энергоснабжения в регионе.
- Оптимальная техническая схема для экспортной электропередачи ЮЯГЭК - Северный Китай может быть выбрана с учетом различных параметров, включая расстояние, потребность в мощности и надежность системы передачи.
- Сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем в сфере энергетики представляет собой важную перспективу для обеспечения энергетической безопасности региона и создания экономически выгодных условий для обеих сторон.

В целом, данное исследование подчеркивает важность интеграции гидроэнергетики и электроэнергетических систем для обеспечения устойчивого развития и

эффективного использования ресурсов в регионах с высоким энергопотреблением. Сотрудничество между Южной Якутией и Северным Китаем может стать ярким примером такой интеграции, способствуя устойчивому и экологически чистому энергетическому будущему.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-01129-23-00)

Литература

1. Горшкова А.А., Бушуев В.В. Новая эпоха, новая система // Энергетическая политика. 2022. № 3(162). С. 2–3.
2. Бушуев В.В. Роль гидроэнергетики в формировании ресурсной базы и энергетической инфраструктуры Евразии 2013. С. 50–51.
3. Бушуев В.В., Громов А.И., Белогорьев А.М., Мастепанов А.М. Энергетика России: постстратегический взгляд на 50 лет вперед. Москва: Издательско-аналитический центр “Энергия,” 2016.
4. Глобальный инновационный индекс 2022 года [Электронный ресурс]. . 2022 URL: https://www.wipo.int/pressroom/ru/articles/2022/article_0011.html (дата обращения: 1.11.2023).
5. Бальжинов А.В., Ай В. ОСОБЕННОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ КИТАЯ // Социально-экономическое развитие России и Монголии: проблемы и перспективы. 2020. С. 37–40.
6. Зильберман С.М. О совместной работе ОЭС Сибири и Северной энергосистемы Китая // Электричество. 2008. № 11. С. 2–5.
7. Ваксова Е.И., Подковальников С.В., Соловьев Д.А., Тиматков В.В. Роль гидроэнергетических ресурсов России в перспективном развитии инфраструктурной сети и энергетических рынков Евразии // Энергетическая политика. 2016. № 6. С. 108–115.
8. Самородов Г.И., Красильникова Т.Г. Прогрессивные технологии передачи электроэнергии на переменном токе на дальние и сверхдальние расстояния // Энергетическая политика. 2013. № 5. С. 31–38.

References

1. Gorshkova A.A., Bushuev V.V. A New Era, A New System // Energy Policy. 2022. No. 3(162). Pp. 2–3.
2. Bushuev V.V. The Role of Hydroelectric Power in Shaping the Resource Base and Energy Infrastructure of Eurasia. 2013. Pp. 50–51.
3. Bushuev V.V., Gromov A.I., Belogoryev A.M., Mastepanov A.M. Russian Energy: A Post-Strategic Look 50 Years Ahead. Moscow: Publishing and Analytical Center “Energy,” 2016.

4. Global Innovation Index 2022 [Electronic resource]. . 2022. URL: https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2022/article_0011.html (Date accessed: 1.11.2023).
5. Balzhinov A.V., Ay V. FEATURES OF THE FUEL AND ENERGY SECTOR OF CHINA'S ECONOMY // Socio-Economic Development of Russia and Mongolia: Problems and Prospects. 2020. Pp. 37–40.
6. Zilberman S.M. On the Joint Operation of the United Energy System of Siberia and the Northern Power System of China // Electricity. 2008. No. 11. Pp. 2–5.
7. Vaksova E.I., Podkovalnikov S.V., Soloviev D.A., Timatkov V.V. The Role of Russia's Hydroelectric Resources in the Prospective Development of the Infrastructure Network and Energy Markets of Eurasia // Energy Policy. 2016. No. 6. Pp. 108–115.
8. Samorodov G.I., Krasilnikova T.G. Progressive Technologies for AC Power Transmission Over Long and Ultra-Long Distances // Energy Policy. 2013. No. 5. Pp. 31–38.

Integrated Energy Solutions: Assessment of the Prospects of the South Yakutia Hydroelectric Complex for Export to Northern China

Vitaliy V. Bushuev ^[0000-0001-9288-4699],
Victor M. Zaitchenko ^[0000-0002-5979-4234],
Maria O. Morgunova ^[0000-0001-5591-3067]

Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru, zaitch@oivtran.ru,
maymorgunova@rambler.ru

Abstract. This article explores the prospects of the South Yakutia Hydroelectric Complex (SYHC) and its potential impact on the energy system of Northern China. The article analyzes the technical and economic aspects of exporting electricity from South Yakutia to China, evaluates various options for electricity transmission, and investigates the coverage of the semi-peak load in Northern China using the capacities of SYHC. The research demonstrates that SYHC has significant potential to provide electricity not only to its region but also for export to Northern China. The economic analysis indicates that utilizing SYHC's capacities to cover the semi-peak load in China is a more cost-effective option than building new power stations in China. The study also emphasizes the importance of integrating hydroelectric power and electrical systems to ensure stable and environmentally sustainable energy supply in regions with high electricity consumption. The proposed collaboration between South Yakutia and Northern

China in the field of energy could be a significant step in this direction and contribute to the energy security and sustainable development of both regions.

Keywords: energy, hydroelectric complex, electricity export, Northern China, sustainable development.

Acknowledgment: This work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state assignment No. 075-01129-23-00).

УДК 620.92

DOI: 10.5281/zenodo.10066028

Учет факторов изменения климата при прогнозировании цен на природный газ в ЕС

¹Бушуев Виталий Васильевич^[0000-0001-9288-4699]
^{1,2}Соловьев Дмитрий Александрович^[0000-0001-5591-3067],

¹Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН),
г. Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Аннотация. В статье выполнен нейронный прогноз газовых цен в Европе на текущий год и на перспективу до 2030 г. Проведен анализ связи газовых цен и роста глобальной температуры, эмиссии CO₂ и скорости ветра. Ожидаемое снижение цен на газ в Европе в 2023 году может произойти из-за снижения спроса, вызванного более теплой погодой. Показано, что рынок газа подвержен различным факторам, таким как погода, спрос и предложение, а также влиянию геополитических событий, что может вызывать колебания цен и создавать риски для рынка. Кроме того, статья подчеркивает необходимость борьбы с изменением климата и принятия мер по сокращению выбросов CO₂, так как, согласно выполненным прогнозам динамики климатических аномалий, глобальное потепление превысит цели Парижского соглашения, если не будут предприняты дополнительные действия. Анализируется также взаимосвязь между ценами на газ, температурой воздуха и скоростью ветра, при этом отмечается положительная корреляция между скоростью ветра и ценами на газ в Европе. Статья подчеркивает важность усилий по сокращению выбросов CO₂ и разработке адаптационных мер для изменения климата на Европейском континенте.

Ключевые слова: газовый рынок ЕС, природный газ, нейронное прогнозирование, глобальное потепление, климат, газовый рынок ЕС

1 Введение

В последние годы нейронные сети стали мощным инструментом в области прогнозирования, и экономика не стала исключением. Они успешно применяются для прогнозирования различных экономических переменных, включая

цены на энергоресурсы, а так же их можно использовать для прогнозирования и других периодически меняющихся процессов, например, в сфере экологии и климата [1].

Прогнозирование цен на энергоресурсы, в том числе природный газ, является сложной задачей, которая зависит от множества факторов, включая спрос и предложение, погодные условия, геополитические события и другие экономические переменные. Нейронные сети позволяют обрабатывать и анализировать большие объемы данных, выявлять сложные взаимосвязи и создавать более точные прогнозы.

Одним из основных преимуществ нейронного прогнозирования в экономике является его способность улавливать нелинейные зависимости и обрабатывать большое количество информации. Нейронные сети могут использовать данные о прошлых ценах на газ, экономических показателях, погодных условиях и других факторах для прогнозирования будущих цен. Они могут обнаруживать скрытые закономерности и тренды, что помогает улучшить качество прогнозов.

Однако, прогнозирование цен на природный газ с использованием нейронных сетей также имеет свои ограничения. Нейронные сети требуют большого объема данных для обучения и могут страдать от проблемы переобучения, если используемые данные недостаточно репрезентативны или содержат шум. Кроме того, экономические рынки могут быть подвержены внезапным изменениям и неожиданным событиям, которые могут исказить прогнозы.

Для создания нейросетевой модели была реализована многослойная архитектура нейронной сети с обратным распространением ошибки [2]. Кроме того, в связи с большим количеством взаимосвязанных факторов на рынке, в данных программных продуктах существует возможность «подмешивания» других параллельных входов, тем самым учитывая влияние коррелированных процессов, связанных в т.ч. с учетом климатических факторов.

Для того, чтобы построить прогноз некоторой функции $F1$, мы должны подать на вход нейросети f точек, и считать $f+1$ -ю точку с выхода нейросети.

Тем не менее, перед подобным вычислением следует определиться с топологией сети, её типом, и обучить её.

В нашем случае используется персептрон с обратным распространением ошибки. Каждый из нейронов одного слоя (кол-во нейронов = i) соединён с каждым из нейронов соседнего слоя (кол-во нейронов = j), образуя $i*j$ связей (синапсов). Каждый синапс обладает некоторым весом – значимостью выхода предыдущего нейрона к последующему. Так, нейрон с большим весом будет наиболее сильно влиять на выходное значение нейронов в следующем слое, связанных с ним.

Выход (OUT) каждого нейрона определяется как сумма входных весов помноженных на соответствующие входные сигналы (Sum(IN)) и пропущенные через функцию активации. Функция активации, как правило, выбирается экспоненциальной: $OUT = 1/(1 + \exp(-\text{Sum}(\text{IN})))$. Однако, многочисленные численные эксперименты позволяют нам сделать вывод о том, что предварительное выявление структурных (внутренних) закономерностей заданного временного ряда, в частности, волнами Эллиотта, позволяет выявить сначала скрытые закономерности в

данных, и затем уже, на основе имеющихся выявленных закономерностей формировать вид активационной функции, которая имеет различный вид на различных временных интервалах прогнозирования. Описание структуры нейронной модели и алгоритма ее работы было представлено в работе [3].

Цель настоящей работы заключается в разработке прогностической модели, использующей нейронные сети или другие методы машинного обучения, для прогнозирования будущих цен на газ в ЕС (построения краткосрочного на текущий год и долгосрочного прогноза до 2030 г.) и в исследовании взаимосвязи между ценами на газ в Европейском союзе (ЕС) и факторами, влияющими на них, такими как глобальное потепление, уровень выбросов углекислого газа (CO₂) и скорость ветра. Статья направлена на понимание влияния этих факторов на цены на газ в ЕС и предсказание будущих трендов. Поэтому, проводится анализ данных о прошлых ценах на газ в ЕС, а также собирают информацию о глобальной температуре, уровне выбросов CO₂ и скорости ветра.

В результате этой работы мы сможем ответить на вопрос, как изменение глобальной температуры, уровня CO₂ и скорости ветра может повлиять на будущие цены на газ в ЕС, и предоставить полезные выводы и рекомендации для рынка газа и энергетических компаний. Это имеет важное практическое значение, поскольку предоставление точных прогнозов цен на газ в ЕС и понимание взаимосвязи с факторами, связанными с изменением климата, позволяет участникам рынка принимать более обоснованные решения, планировать свою деятельность и адаптироваться к изменяющимся условиям. Это также может способствовать разработке более устойчивых и экологически эффективных энергетических стратегий стран экспортеров и импортеров природного газа.

2 Анализ прогнозной и фактической сравнительной динамики газовых цен на спотовом рынке ЕС

В качестве источников получения исходных данных для составления нейронного прогноза цен на природный газ ЕС использовались данные портала ProFinance [4] и Gas Infrastructure Europe – AGSI [5].

На **рис. 1 и 2** показаны графики для прогноза среднемесячных цен на природный газ ЕС от мая 2023 г. и уровня заполнения подземных хранилищ природного газа ЕС, ТВтч, ср. мес. - от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяч на 18.05.2023).

Майские прогнозы 2023 г. о более теплой погоде в некоторых частях Европы привели к снижению спроса на газ, что вызвало снижение цен. Фьючерсы на ближайшие месяцы достигли самого низкого уровня с июня 2021 года, составляя менее одной десятой от рекорда, установленного в прошлом году.

Однако, стоит отметить, что на континенте сохраняется риск перебоев с поставками газа. Несмотря на это, расширение возможностей импорта сжиженного природного газа (СПГ), экономия спроса со стороны промышленности и домохозяйств, а также хорошие запасы газа способствовали улучшению ситуации на рынке в конце прошлого года и в начале 2023 года.

Цены на голландский фьючерс TTF и эквивалент Великобритании на поставку газа также снизились. При этом цены на природный газ в США также снижаются из-за ожидания увеличения запасов.

В целом, рынок природного газа подвержен влиянию множества факторов, включая погодные условия, спрос и предложение, а также геополитические события. Эти факторы могут вызывать колебания цен на газ и создавать риски для рынка.

Таблица 1. Природный газ в ЕС (TTF), 2023.

Дата	Природный газ в ЕС (TTF) ср. мес., USD/ тыс.,м3* - прогноз от 20.05.2023
01.01.2023	708,8
01.02.2023	579,4
01.03.2023	488,4
01.04.2023	474,1
01.05.2023	392,4
01.06.2023	374,9
01.07.2023	372,0
01.08.2023	236,9
01.09.2023	250,7
01.10.2023	268,8
01.11.2023	246,0
01.12.2023	149,1

Источник: расчеты авторов, [4].



Рис. 1. Сравнительный прогноз среднемесячных цен на природный газ ЕС от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяц на 18.05.2023).

Источник: расчеты авторов, [4].

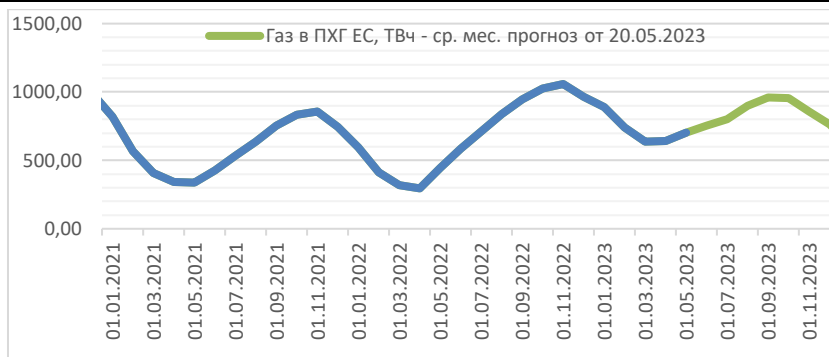


Рис. 2. Прогноз уровня заполнения подземных хранилищ природного газа ЕС, ТВтч, ср. мес. - от 20.05.2023 (фактические цены ср.месяч на 18.05.2023).

Источник: расчеты авторов, [5].

Согласно представленным в Табл.1 прогнозам газовых цен в ЕС (ТТФ) ср. мес., USD/ тыс,м³, цены на природный газ в Европе снижаются с января по декабрь 2023 года. Самый высокий уровень цен наблюдается в январе (708,8 долларов за тысячу кубометров), а самый низкий - в декабре (149,1 доллара за тысячу кубометров).

Согласно данным Табл.1, средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 312,5 долларов за тысячу кубометров.

По данным рейтингового агентства Fitch, средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 706 долларов за тысячу кубометров, что вдвое выше, чем по нашим прогнозам. Fitch понизило свой прогноз из-за более высоких, чем ожидалось, уровней газа в европейских хранилищах (рис.2). Однако агентство ожидает, что рынок в Европе будет сбалансирован в 2023 году, хотя волатильность цен может сохраниться.

По данным газеты «Ведомости», средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 400 долларов за тысячу кубометров, что ближе к нашим прогнозам. Эксперт маркетплейса «Финмир» Антон Кравцов допускает, что цены на газ в Европе могут упасть до этого уровня из-за сокращения спроса и увеличения поставок СПГ. Однако он также ожидает «отскока» вверх до 565-580 \$ за тысячу кубометров в ближайшее время.

По данным газеты «Коммерсант», средняя цена на газ в Европе в 2023 году составит 38 долларов за тысячу кубических футов, что эквивалентно 1344 долларам за тысячу кубометров. Это самый высокий прогноз среди рассмотренных источников. Газета ссылается на данные Fitch, но не уточняет, какой период они охватывают. Возможно, это прогноз на начало 2023 года, когда цены на газ могут быть еще высокими из-за холодной погоды и низких запасов.

Прогнозы цен на газ в Европе на 2023 год сильно разнятся в зависимости от источника и методологии. Наш прогноз является одним из самых низких и оптимистичных для ЕС, но он может быть близок к реальности, если в Европе будет теплая погода, высокий уровень хранения и поставок газа и низкий спрос на энергию. Однако не стоит исключать возможность повышения цен на газ в случае холодной зимы, перебоев с поставками, геополитических рисков или увеличения спроса в Азии.

В качестве вывода, который основывается на текущих прогнозных расчетах газовых цен в ЕС, можно предположить, что газовый рынок в Европейском союзе (как и нефтяной) будут стабилизироваться и не подвергаться значительным глобальным колебаниям. Флуктуации на газовом рынке скорее будут иметь локальный характер, и нет оснований пересматривать данный вывод, который был представлен также и в предыдущих отчетах.

Таблица 2. Природный газ в ЕС (TTF), 2022-2030

Дата	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Природный газ в ЕС (TTF) ср. мес., USD/тыс.м ³ - прогноз от 20.05.2023	1414,0	378,4	200,9	198,5	166,2	137,0	269,7	129,9	305,2

Источник: расчеты авторов, [4].

В Таблице 2 показаны данные о среднемесячных ценах на природный газ в ЕС (TTF) в долларах США за тысячу кубических метров с 2022 по 2030 годы.

Анализ данных этой таблицы показывает, что среднемесячные цены на природный газ в ЕС (TTF) в долларах США за тысячу кубических метров сильно снизятся с 2022 по 2024 годы, а затем возрастут с 2025 по 2030 годы. Самая высокая цена на природный газ в ЕС (TTF) была в 2022 году — 1414 долларов США за тысячу кубических метров. Всплеск цены 2022 года был вызван низкими запасами, высоким спросом, погодными условиями и политическими решениями вокруг ситуации на Украине. Самая низкая цена на природный газ в ЕС (TTF) ожидается в 2029 году — 129,9 долларов США за тысячу кубических метров. Это может быть связано с увеличением поставок газа в Европу, восстановлением запасов и снижением спроса на газ из-за перехода к более чистым источникам энергии. Средняя цена на природный газ в ЕС (TTF) за весь период с 2022 по 2030 годы составляет 312,8 долларов США за тысячу кубических метров. Это ниже, чем текущая цена на газ в Европе, которая составляет около 357 долларов США за тысячу кубических метров. Коэффициент корреляции между датой и ценой на природный газ в ЕС (TTF) равен -0,15, что означает, что нет сильной линейной связи между этими переменными. Это означает, что цены на природный газ в ЕС (TTF) не зависят только от времени, а также от других факторов, которые могут изменяться в разные периоды.

По состоянию на 15 мая 2023 года, фьючерсы на голландский TTF составляли 32,31 евро за мегаватт-час для контрактов с поставкой в июне 2023 года ¹. Это соответствует примерно 357 долларов США за тысячу кубических метров по текущему курсу обмена.

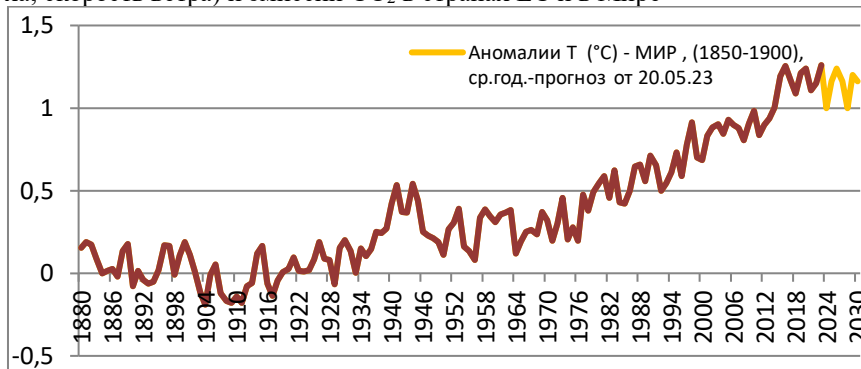
Цены на природный газ в Европе сильно колебались в последние месяцы из-за различных факторов, таких как низкие запасы, высокий спрос, погодные условия и политические решения. Некоторые аналитики ожидают, что цены на природный газ в Европе останутся на текущем уровне до конца 2023 года, а затем начнут снижаться по мере увеличения поставок и восстановления запасов.

Есть высокая вероятность, что потолок цен на газ, установленный ЕС с февраля 2023 года, не повлияет на Россию как на поставщика газа в Евросоюз. Так как Россия продает газ только тем странам, которые у нее в политическом фаворе, а их контракты не зависят от ограниченной ЕС цены на спотовом рынке TTF. Кроме того, Россия по-прежнему продает ЕС сжиженный природный газ (СПГ), занимая второе место по объему поставок после США.

3 Климатические аномалии (температура воздуха, скорость ветра) и эмиссия CO₂ в странах ЕС и в Мире

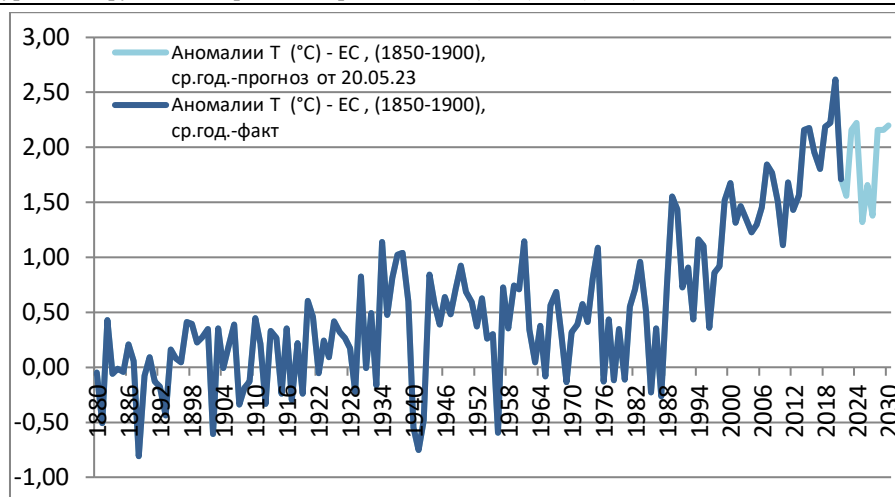
В качестве источников получения исходных данных для составления нейронного прогноза климатических аномалий, использовались данные European Environment Agency [6] и данные реанализов климатических показателей climateranalyser.org [7].

На **рис. 3 -5** показаны прогнозы климатических аномалий (температура воздуха, скорость ветра) и эмиссии CO₂ в странах ЕС и в Мире



(a)

¹ <https://www.statista.com/statistics/1267202/weekly-dutch-ttf-gas-futures/>



(б)

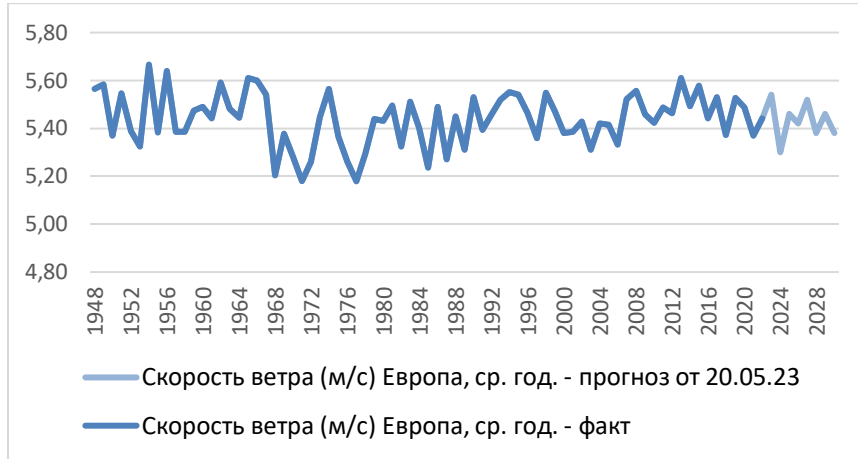
Рис. 3. Температура воздуха (Т) в сравнении с доиндустриальными значениями 1850-1900 (°C) -NOAAGlobalTemp -Парижское соглашение², а – МИР, б – ЕС.

Источник: расчеты авторов, [6].



(а)

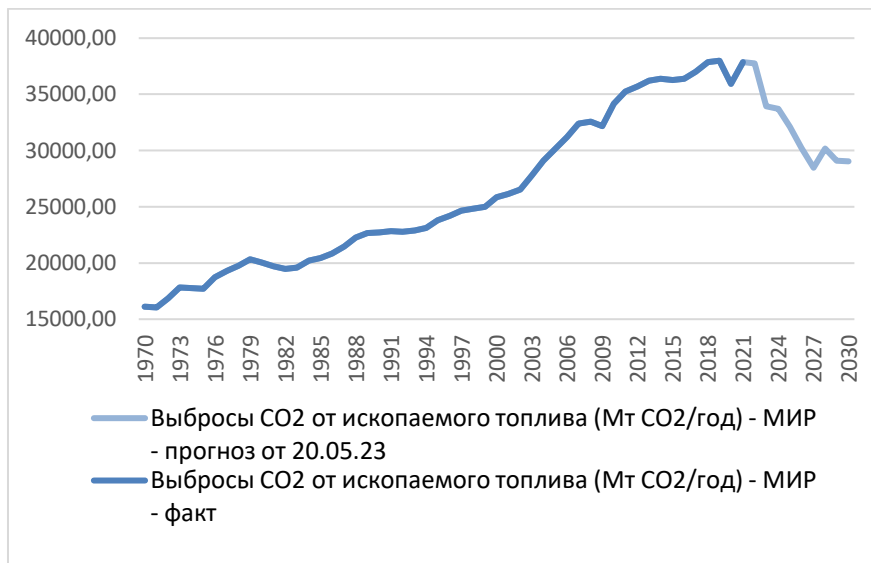
² Парижское соглашение провозгласило целью не допустить превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 году более чем на два градуса Цельсия от доиндустриального уровня и предпринять меры для удержания потепления в пределах 1,5 градуса (в настоящее время средняя температура на 0,75 градусов выше, чем среднегодовые показатели в 1850-1900 гг.).



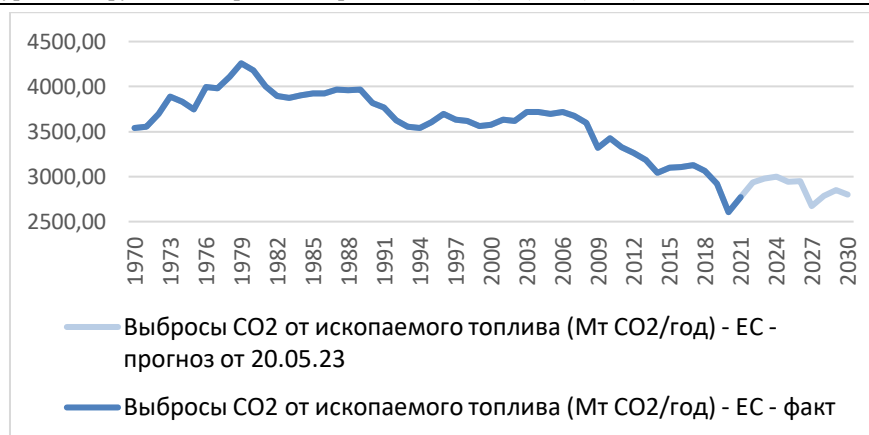
(б)

Рис. 4. Прогноз изменения скорости ветра (м/с) , а – МИР и б – Европа

Источник: расчеты авторов, [7].



(а)



(б)

Рис. 5. Выбросы CO₂ от ископаемого топлива (Мт CO₂/год), а – МИР и б – Европа

Источник: расчеты авторов, [7].

Таблица 3. Т - в сравнении с доиндустриальными значениями 1850-1900 (°C) - Парижское соглашение, 2023-2030

Год	Аномалии Т воздуха (°C) - страны ЕС , (1850-1900), ср.год.-прогноз от 20.05.23	Аномалии Т воздуха (°C) - МИР , (1850-1900), ср.год.-прогноз от 20.05.23
2023	2,16	1,26
2024	2,22	1
2025	1,32	1,16
2026	1,66	1,24
2027	1,38	1,16
2028	2,16	1
2029	2,16	1,2
2030	2,2	1,16

Источник: расчеты авторов, [7].

На рис.3 а и б и Табл.3 представлено сравнение прогнозов температурных аномалий воздуха в Европе и в мире на текущий год. Аномалии Т воздуха в Табл.3 показывает, на сколько градусов цельсия температура воздуха отличается от среднего значения за период 1850-1900 годов в 2023. Парижское соглашение - это международный договор, подписанный в 2015 году, который призывает страны сократить выбросы парниковых газов и ограничить глобальное потепление до 1,5°C к 2100 году.

Нами прогнозируется, что средняя глобальная температура воздуха в 2030 году будет на 1,16°C выше, чем в периоде 1850-1900 годов. Это означает, что мир находится на пути к превышению цели Парижского соглашения в 1,5°C к 2100

году, если не будут предприняты дополнительные меры по сокращению выбросов парниковых газов. Средняя температура воздуха в странах ЕС в 2030 году будет на 2,2°C выше, чем в периоде 1850-1900 годов. Это означает, что Европа испытывает более сильное потепление, чем мир в целом, и должна усилить свои усилия по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий.

На рис 4 а и б представлены прогнозы изменения скорости ветра (м/с) в регионе ЕС и в мире до 2030 г.

Таблица 4. Ветер, 2022-2030

Год	Скорость ветра (м/с) МИР, ср. год. - прогноз от 20.05.23	Скорость ветра (м/с) Европа, ср. год. - прогноз от 20.05.23
2022	6,60	5,44
2023	6,46	5,54
2024	6,52	5,3
2025	6,46	5,46
2026	6,52	5,42
2027	6,42	5,52
2028	6,48	5,38
2029	6,48	5,46
2030	6,56	5,38

Источник: расчеты авторов, [7].

Скорость ветра в мире колеблется от 6,42 до 6,60 м/с в период с 2022 по 2030 год. Она имеет небольшой спад в 2023 и 2025 годах, но в целом остается достаточно стабильной. Скорость ветра в Европе колеблется от 5,3 до 5,54 м/с в тот же период. Она имеет небольшой рост в 2023 и 2027 годах, но также остается достаточно стабильной. Скорость ветра в Европе всегда ниже, чем в мире, на примерно 1 м/с. Разница между скоростью ветра в мире и в Европе не имеет явной тенденции к увеличению или уменьшению на заданном горизонте прогнозирования.

Снижение скорости ветра в Европе (Табл.4) относительно максимумов, прогнозируемых в 2023 и 2027 годах может означать возможное уменьшение произ-

водства электроэнергии из ветровых источников, особенно оффшорных. Это может повлиять на стабильность и надёжность энергоснабжения, а также на экономическую эффективность ветроэнергетики. Однако эти факторы зависят не только от скорости ветра, но и от других параметров, таких как направление ветра, плотности воздуха, высота установки ветрогенераторов, характеристики сети и спроса на электричество. Кроме того, существуют различные способы компенсации колебаний скорости ветра, такие как использование гибридных систем с другими видами возобновляемой энергии (например, солнечной), развитие систем хранения энергии, управление спросом и трансграничная кооперация.

Прогнозируемый рост скорости ветра в Европе в 2023 году может означать увеличение производства электроэнергии из ветровых источников, особенно оффшорных и может снизить спрос на газ и нефть в некоторой степени, но не решить проблему высоких цен на эти виды энергии. Для этого необходимо увеличить поставки и запасы газа и нефти, развивать другие виды возобновляемой энергии, повышать энергоэффективность и сотрудничать на международном уровне.

Скорость ветра и аномалии температуры воздуха в ЕС имеют слабую положительную корреляцию (0.25). Это означает, что повышение скорости ветра слегка сопровождается повышением температуры воздуха и наоборот. Это может быть связано с тем, что более сильный ветер переносит тёплый воздух из одних регионов в другие, уравнивая температурные различия. Однако, эта связь не очень сильная, так как на температуру воздуха влияют и другие факторы, такие как альбедо, облачность, циркуляция атмосферы и океанов, вулканическая активность и т.д.

Скорость ветра и цены на природный газ в ЕС имеют среднюю положительную корреляцию (0.54). Это означает, что повышение скорости ветра сопровождается повышением цен на природный газ и наоборот. Это может быть связано с тем, что природный газ используется для резервирования мощностей ВЭС, когда ветер сильный, но нестабилен. Однако, цена на природный газ также зависит от других факторов, таких как температура воздуха, спрос на энергию, предложение природного газа и политика по борьбе с изменением климата, поэтому здесь нельзя говорить об однозначной связи этих двух показателей.

На рис.5 а и б представлены прогнозы уровня выбросов CO₂ от ископаемого топлива (Мт CO₂/год) в регионе ЕС и в мире до 2030 г.

Таблица 5. Выбросы CO₂ от ископаемого топлива, 2021-2030 гг.

Год	Выбросы CO ₂ от ископаемого топлива (Мт CO ₂ /год) - МИР - прогноз от 20.05.23	Выбросы CO ₂ от ископаемого топлива (Мт CO ₂ /год) - ЕС - прогноз от 20.05.23
2021	37857,58	2774,93
2022	37749,22	2935,1
2023	33955,52	2978,36
2024	33695,84	2999,5
2025	32104,12	2942,26
2026	30238,48	2947,78
2027	28444,54	2669,04
2028	30204,56	2786,76
2029	29090,96	2852,46
2030	29041,92	2802,08

Источник: расчеты авторов, [7].

Прогнозы выбросов CO₂ от ископаемого топлива, представленные в Табл.4, в т.ч. для мира показывают общий тренд на снижение с 2021 по 2030 год, за исключением небольшого роста в 2028 году. Самый большой спад произошел между 2022 и 2023 годами, когда выбросы уменьшились на 10%.

Выбросы CO₂ от ископаемого топлива для ЕС также показывают общий тренд на снижение с 2021 по 2030 год, за исключением небольшого роста в 2024 и 2028 годах. Самый большой спад произошел между 2026 и 2027 годами, когда выбросы уменьшились на 9.4%.

Согласно прогнозу доля выбросов CO₂ от ископаемого топлива ЕС в мировых выбросах колеблется от 7.3% в 2021 году до 9.6% в 2030 году. Это означает, что ЕС сокращает свои выбросы медленнее, чем мир в целом.

В целом, таблица показывает положительную динамику в борьбе с изменением климата, но для достижения цели Парижского соглашения ограничить глобальное потепление до 1.5°C этого не будет достаточно (рис.3).

Анализируя данные роста аномалий T и выбросов CO_2 для ЕС и Мира (Табл. 3 и 5) можно сделать следующие выводы:

Для ЕС, аномалии температуры воздуха и выбросы CO_2 от ископаемого топлива имеют слабую отрицательную корреляцию (-0.33). Это означает, что снижение выбросов CO_2 не приводит к значительному понижению температуры воздуха. Наоборот, в 2028 и 2029 годах, когда выбросы CO_2 снижаются, аномалии температуры воздуха растут до максимальных значений ($2.16^{\circ}C$).

Для Мира, аномалии температуры воздуха и выбросы CO_2 от ископаемого топлива имеют сильную положительную корреляцию (0.81). Это означает, что снижение выбросов CO_2 приводит к понижению температуры воздуха. Например, в 2024 году, когда выбросы CO_2 достигают минимального значения (33695.84 Мт CO_2 /год), аномалии температуры воздуха также достигают минимального значения ($1^{\circ}C$).

Эти данные могут быть связаны между собой следующим образом:

Выбросы CO_2 от ископаемого топлива являются одним из основных факторов, влияющих на глобальное потепление. Однако, влияние выбросов CO_2 на температуру воздуха зависит от многих других факторов, таких как альbedo, облачность, циркуляция атмосферы и океанов, вулканическая активность и т.д.

ЕС является одним из регионов, которые наиболее подвержены изменению климата из-за своего географического положения и высокой плотности населения. Поэтому, снижение выбросов CO_2 в ЕС может не быть достаточным для снижения температуры воздуха в этом регионе, если другие регионы продолжают увеличивать свои выбросы CO_2 или если другие факторы усиливают эффект парниковых газов.

Мир в целом показывает более сильную связь между выбросами CO_2 и температурой воздуха, потому что он учитывает все регионы и все факторы, влияющие на климат. Поэтому, снижение выбросов CO_2 на глобальном уровне может привести к снижению глобального потепления и предотвратить опасные последствия для человечества и природы.

Аномалии температуры воздуха и цены на природный газ в ЕС имеют среднюю отрицательную корреляцию (-0.51). Это означает, что повышение температуры воздуха сопровождается понижением цен на природный газ и наоборот. Например, в 2024 году, когда аномалии температуры воздуха достигают второго по величине значения ($2.22^{\circ}C$), цены на природный газ достигают второго по низкости значения (200.87 USD/тыс.м³).

Выбросы CO_2 от ископаемого топлива и цены на природный газ в ЕС имеют сильную отрицательную корреляцию (-0.87). Это означает, что снижение выбросов CO_2 сопровождается понижением цен на природный газ и наоборот. Например, в 2022 году, когда выбросы CO_2 достигают максимального значения (2935.1 Мт CO_2 /год), цены на природный газ также достигают максимального значения (1414.03 USD/тыс.м³).

Это объясняется тем, что природный газ является одним из ископаемых топлив, которые выделяют CO_2 при сжигании. Поэтому, потребление природного

газа влияет на уровень выбросов CO₂ в атмосферу. Поэтому, снижение потребления природного газа может привести к снижению выбросов CO₂ и уменьшению его цены.

Цена на природный газ также зависит от спроса, который определяется не только температурой воздуха, но и политикой по борьбе с изменением климата. Поэтому, цена на природный газ может колебаться в зависимости от изменения этих факторов. Например, в 2023 году, когда цена на природный газ резко падает до 378.45 USD/тыс.м³, это может быть связано с увеличением спроса на альтернативные источники энергии, такие как ветер, солнце или биомасса, которые не выделяют CO₂ при производстве электричества.

4 Выводы

Ниже представлены основные выводы, которые получены из анализа данных полученных нами нейронных прогнозов газовых цен на рынке ЕС и факторов наблюдаемых климатических изменений:

- 1) Ожидается, что цены на газ в Европе будут снижаться в течение 2023 года, особенно из-за снижения спроса на газ из-за более теплой погоды.
- 2) Средняя цена на природный газ в ЕС (TTF) за весь период с 2022 по 2030 годы составляет 312,8 долларов США за тысячу кубических метров. Это ниже, чем текущая цена на газ в Европе, которая составляет около 357 долларов США за тысячу кубических метров.
- 3) Рынок природного газа ЕС подвержен влиянию множества факторов, включая погоду, спрос и предложение, а также геополитические события, что может вызывать колебания цен на газ и создавать риски для рынка.
- 4) Прогнозы цен на газ в Европе на 2023 год разнятся в зависимости от источника и методологии. Оптимистичные прогнозы предполагают теплую погоду, высокий уровень хранения и поставок газа, а также низкий спрос на энергию.
- 5) Глобальное потепление превысит цель Парижского соглашения в 1,5°C к 2100 году, если не будут предприняты дополнительные меры по сокращению выбросов парниковых газов. Это подтверждает необходимость усиления усилий по борьбе с изменением климата и адаптации к его последствиям.
- 6) Европа испытывает более сильное потепление, чем весь мир в целом, что требует дополнительных мер по адаптации и смягчению последствий изменения климата в регионе.

- 7) Скорость ветра в Европе и в мире остается достаточно стабильной в прогнозируемом периоде, но возможное снижение скорости ветра может повлиять на производство электроэнергии из ветровых источников.
- 8) Наблюдается положительная корреляция между скоростью ветра и ценами на природный газ в Европе, но цена на газ также зависит от других факторов, и нет однозначной связи этих двух показателей.
- 9) Снижение выбросов CO₂ от ископаемого топлива наблюдается как в мире в целом, так и в Европейском Союзе, но снижение выбросов в ЕС происходит медленнее, требуя дополнительных усилий для перехода к более экологически устойчивым источникам энергии.

Благодарность: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FMWE-2021-0003).

Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Издательский дом Вильямс, 2008.
2. Бушуев В.В., Соколущенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование. Москва: ИД «Энергия», 2016.
3. 3. Неведова Л.В., Соловьев Д.А. Нейронное прогнозирование аномалии осредненной температуры воздуха для арктического региона // Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Шестая международная научная конференция-школа молодых ученых; Москва. 21-23 октября 2020 г.. Сборник материалов. 2020. С. 150–152.
4. Charts GAS TTF USD/1000 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.profinance.ru/charts/ttfusd1000/1191h> (дата обращения: 29.05.2023).
5. AGSI [Электронный ресурс]. . 2023 URL: <https://agsi.gie.eu/>.
6. Global (left) and European land (right) average near-surface temperatures relative to the pre-industrial period 1850-1900 [Электронный ресурс]. . 2023 URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-left-and-european-land-1>.
7. Climate Reanalyzer [Электронный ресурс]. . 2022 URL: https://climatreanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (дата обращения: 8.04.2022).

References

1. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Course, 2nd Edition. Williams Publishing House, 2008.
2. Bushev V.V., Sokotushenko V.N. Intellectual Forecasting. Moscow: ID "Energy," 2016.
3. Nefedova L.V., Soloviev D.A. Neural Forecasting of Anomalies in Average Air Temperature for the Arctic Region // Physical and Mathematical Modeling of Processes in Geo-environments: The Sixth International Scientific Conference-School for Young Scientists; Moscow. October 21-23, 2020. Proceedings. 2020. Pp. 150–152.

4. Charts GAS TTF USD/1000 [Electronic resource]. URL: <https://www.profinance.ru/charts/ttfusd1000/1191h> (date of access: 29.05.2023).
5. AGSI [Electronic resource]. URL: <https://agsi.gie.eu/>. 2023.
6. Global (left) and European land (right) average near-surface temperatures relative to the pre-industrial period 1850-1900 [Electronic resource]. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/global-left-and-european-land-1>. 2023.
7. Climate Reanalyzer [Electronic resource]. URL: https://climatreanalyzer.org/reanalysis/monthly_tseries/ (date of access: 8.04.2022).

Accounting for Climate Change Factors in Forecasting Natural Gas Prices in the EU

¹ Bushuev Vitaly Vasilievich ^[0000-0001-9288-4699],
^{1,2} Solovyev Dmitry Alexandrovich ^[0000-0001-5591-3067]

¹ Joint Institute of High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: vital@guies.ru, solovev@ocean.ru

Abstract. The article presents a neural forecast of gas prices in Europe for the current year and the future up to 2030. An analysis is made of the relationship between gas prices and global temperature growth, CO₂ emissions and wind speed. A decline in gas prices in Europe in 2023 is expected due to reduced demand caused by warmer weather. It is shown that the gas market is subject to various factors, such as weather, supply and demand, and the influence of geopolitical events, which can cause price fluctuations and create risks for the market. In addition, the article highlights the need to combat climate change and take action to reduce CO₂ emissions, as according to the forecasts of climate anomalies, global warming will exceed the goals of the Paris Agreement if additional actions are not taken. The relationship between gas prices, air temperature and wind speed is also analyzed, and there is a positive correlation between wind speed and gas prices in Europe. The article highlights the importance of efforts to reduce CO₂ emissions and develop climate change adaptation measures in Europe.

Keywords: EU gas market, natural gas, neural prediction, global warming, climate, EU gas market

Acknowledgment. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state task No. FMWE-2021-0003).

УДК 004.8:551.46

DOI: 10.5281/zenodo.10066580

ИИ и океан: отчет о выступлении Михаила Криницкого на конференции AI IN2023

Криницкий Михаил Алексеевич ^[0000-0001-5943-0695]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, г. Москва, Нахимовский пр-т, д.36

E-mail: krinitsky@sail.msk.ru

Аннотация. В данной статье освещается выступление Михаила Криницкого, старшего научного сотрудника Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН, на конференции по искусственному интеллекту AI IN 2023 в Университете Иннополис. Михаил Криницкий представил уникальный взгляд на применение методов искусственного интеллекта (ИИ) в науках о Земле. Особое внимание уделяется успешному использованию ИИ в задачах мониторинга и исследований в области океанологии, а также высокопотенциальным возможностям ИИ в различных задачах мониторинговых наблюдений, ускорения камеральных и полевых исследований, и более точной оценке факторов, регулирующих динамику атмосферы и океана. Статья также затрагивает трудности и проблемы, возникающие при применении ИИ в фундаментальных науках, и стремление команды Михаила Криницкого к разработке методов для повышения доверия академического сообщества к результатам, полученным с помощью ИИ.

Ключевые слова: искусственный интеллект, институт океанологии РАН, мониторинг климатических изменений, конференция ai in 2023, применение ИИ в науках о Земле

1 Введение

Современный мир переживает период быстрого технологического развития, в центре которого находится искусственный интеллект (ИИ). Особое место в этом процессе занимает применение ИИ в научных исследованиях, особенно в таких многоаспектных и сложных областях, как океанология и атмосферные исследо-

вания [1]. При этом, тесное взаимодействие ИИ с традиционными научными методами открывает новые горизонты для анализа и моделирования природных процессов.



Рис. 1. Выступление Михаила Криницкого в Университете Иннополис. Источник: [5].

17-18 августа 2023 года в Университете Иннополис прошла конференция по искусственному интеллекту AI IN 2023, на которой Михаил Криницкий (рис.1), старший научный сотрудник Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН, представил свой уникальный взгляд на возможности применения ИИ в науках о Земле [3]. Доклад Криницкого подчеркивает значимость исследований в этой области, особенности применения ИИ и его потенциал для решения ключевых задач океанологии и атмосферных исследований.

В последние годы активно развивается направление, связанное с применением методов машинного обучения и глубокого обучения в задачах анализа данных океано-атмосферного взаимодействия. Использование ИИ позволяет значительно ускорить процессы обработки и анализа больших массивов данных, облегчить идентификацию и интерпретацию сложных взаимосвязей и закономерностей природных процессов.

Целью данной статьи является осветить основные аспекты выступления Михаила Криницкого, а также продемонстрировать вклад ИИ в развитие наук о Земле на примере деятельности Лаборатории взаимодействия океана и атмосферы и мониторинга климатических изменений Института океанологии РАН.

2 ИИ и Мировой океан

Науки о Земле для ИИ - пока еще нетипичная, но очень перспективная область. Здесь задачи обладают значительно более широким спектром особенностей, по сравнению с обычными случаями использования ИИ, например, такими, как рекомендации товаров покупателю на маркетплейсах или отслеживание кибератак. В Институте океанологии мы успешно применяем ИИ для разных задач уже не первый год [4].

Развитие этого направления дало нам инструменты, позволяющие использовать ИИ в различных задачах мониторинговых наблюдений, ускорения камеральных и полевых исследований и более точной оценки факторов, регулирующих динамику атмосферы и океана [2]. Мы применяем ИИ в таких задачах, как обнаружение объектов и физических явлений в визуальных данных или данных дистанционного зондирования, так и в задачах извлечения знаний из данных классического моделирования или экспедиционных измерений.

В некоторых случаях нам удалось настроить нейросети, которые выполняют рутинные камеральные задачи за высококвалифицированных экспертов, существенно сокращая затраты их времени. ИИ может значительно облегчить и ускорить процессы проведения научных изысканий и тестирования гипотез в океанологии.

Исходя из опыта нашего коллектива в использовании ИИ в науках о Земле, мы можем с уверенностью сказать, что характер и разнообразие проблем и особенностей, с которыми мы встречаемся, гораздо шире, чем в обычных прикладных задачах машинного обучения. Например, иногда накопленных данных слишком много и правило "чем больше данных, тем лучше обучается ИИ" перестает работать. Кроме того, зачастую оказывается, что разметка данных, стандартный для методов ИИ этап, на практике неосуществима за счет плохо формализуемых признаков изучаемых объектов.

При этом стандартные проблемы, характерные для машинного обучения и ИИ, проявляются и здесь, в геофизике. Мы постоянно сталкиваемся с проблемой переобучения или слишком слабых моделей, а также с проблемой слишком шумной разметки или малых объемов размеченных данных. Отдельный чувствительный вопрос – доверие к результатам ИИ в задачах фундаментальных наук. Академическое сообщество пока скептически относится ко всем новым методам, тем более сложно интерпретируемым.

Для повышения уровня доверия к нашим результатам мы с самого начала последовательно проводим исследования для изучения свойств моделей ИИ в задачах наук о Земле. Мы разрабатываем специальные методы достоверной оценки его ошибок и неопределенностей. Знание пределов применимости ИИ помогает завоевать ему доверие в академической среде. Несмотря на вышеперечисленные особенности, наша лаборатория планирует и дальше развивать это направление. Для этого мы постоянно приглашаем новых студентов и аспирантов для освоения методов искусственного интеллекта применительно к задачам, решаемым в Институте океанологии.

Если задуматься о ближайшем будущем, то исследование Мирового океана — это многогранная задача, в которой искусственный интеллект (ИИ) несомненно будет играть ключевую роль. Возможности применения ИИ для исследования Мирового океана крайне многообразны. Автоматизированный анализ данных дистанционного зондирования, таких как спутниковые снимки, может помочь в обнаружении и отслеживании океанических течений, температур поверхности воды, уровня моря и других ключевых параметров океана. Применение алгоритмов машинного обучения может способствовать созданию более точных прогностических моделей океанических и атмосферных условий, что, в свою очередь, поможет в предсказании погоды и климатических изменений. Разработка автономных подводных аппаратов с ИИ для мониторинга морской фауны и флоры, загрязнения воды, а также для сбора различных данных в реальном времени, является еще одним важным направлением. Использование ИИ для обнаружения и оценки масштабов загрязнения океана, включая автоматическое обнаружение разливов нефти и выбросов отходов, также имеет большой потенциал. В области исследования глубоководных объектов ИИ может автоматизировать процесс исследования глубоководных археологических объектов и геологических формаций, а также создание трехмерных карт глубоководных территорий. Разработка систем ИИ для автоматической идентификации и классификации морских организмов поможет в изучении морской биоразнообразности и влияния климатических изменений на морские экосистемы. Применение ИИ также может оптимизировать планирование и проведение морских экспедиций, анализ данных в реальном времени и поддержку принятия решений в сложных условиях. В области безопасности на море ИИ может анализировать данные с сенсоров и камер для предупреждения о потенциальных угрозах, таких как ледяные горы, другие суда или экстремальные погодные условия, для обеспечения безопасности мореплавания. Использование ИИ для создания и тестирования новых материалов, которые могут выдерживать экстремальные условия океана, также является перспективным направлением, которое может способствовать развитию подводной техники и технологий. Наконец, использование виртуальной реальности и ИИ для создания образовательных платформ и симуляторов может помочь в обучении и подготовке специалистов в области океанологии и морской биологии. Искусственный интеллект открывает множество возможностей для расширения границ знаний о Мировом океане, предоставляя новые инструменты и методы для исследователей в этой важной и сложной области.

3 Выводы

Применение ИИ в науках о Земле представляет собой сложное и многоаспектное направление, требующее глубокого понимания как самого ИИ, так и специфики изучаемых процессов. Разработка и внедрение моделей ИИ в этой области требует тщательного анализа и адаптации под конкретные задачи и условия.

ИИ может значительно ускорить процессы обработки и анализа данных, что в свою очередь способствует более быстрому получению научных результатов и верификации научных гипотез. Это особенно актуально в условиях растущих объемов данных и увеличения сложности задач.

Важным аспектом является разработка методов оценки ошибок и неопределенностей ИИ, что помогает улучшить доверие к результатам, полученным с помощью ИИ, в академической среде. Это позволяет более полно использовать потенциал ИИ для решения фундаментальных и прикладных задач в науках о Земле.

Несмотря на выявленные проблемы и сложности, применение ИИ в океанологии и атмосферных науках является перспективным направлением. Проведение дальнейших исследований и разработка новых методов, адаптированных под специфику этих наук, может привести к значительному прогрессу в исследованиях океано-атмосферного взаимодействия.

Необходимость в подготовке новых кадров, способных работать на стыке ИИ и наук о Земле, подчеркивает важность развития образовательных программ и научных лабораторий в этом направлении.

Исследования в области применения ИИ к задачам океанологии и атмосферных наук являются актуальными и перспективными. Продолжение работ ИО РАН в этом направлении позволит не только расширить границы понимания природных процессов, но и создать основу для разработки новых эффективных методов мониторинга и прогнозирования изменений климата.

Благодарность: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FMWE-2021-0003).

Литература

1. Smith, A. (2021). *Artificial Intelligence: The Modern Prometheus?* Cambridge University Press.
2. Johnson, K., & Williams, R. (2022). *The Ocean-Atmosphere Interaction: Challenges and Prospects.* Springer.
3. AI IN 2023 Conference Proceedings (2023). University of Innpolis.
4. Крицкий, М. (2020). *Применение методов искусственного интеллекта в океанологических исследованиях.* Издательство РАН.
5. На конференции по искусственному интеллекту AI IN 2023 // 24 августа 2023. <https://ocean.ru/index.php/novosti-left/novosti-instituta/item/2822-na-konferentsii-po-iskusstvennomu-intellektu-ai-in-2023>

References

1. Smith, A. (2021). *Artificial Intelligence: The Modern Prometheus?* Cambridge University Press.

2. Johnson, K., & Williams, R. (2022). *The Ocean-Atmosphere Interaction: Challenges and Prospects*. Springer.
3. AI IN 2023 Conference Proceedings (2023). University of Innopolis.
4. Krinitsky, M. (2020). *Application of Artificial Intelligence Methods in Oceanographic Research*. RAS Publishing.
5. At the Artificial Intelligence Conference AI IN 2023 // August 24, 2023. <https://ocean.ru/index.php/novosti-left/novosti-instituta/item/2822-na-konferentsii-po-iskusstvennomu-intellektu-ai-in-2023>

AI and the Ocean: Report on Mikhail Krinitsky's Presentation at AI IN2023 Conference

Krinitsky Mikhail Alexeevich ^[0000-0001-5943-0695]

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences,
117997, Moscow, Nakhimovsky Ave., 36

E-mail: krinitsky@sail.msk.ru

Abstract. This article covers the presentation by Mikhail Krinitsky, a senior researcher of the Laboratory for Ocean-Atmosphere Interaction and Climate Change Monitoring at the Russian Academy of Sciences' Institute of Oceanology, at the Artificial Intelligence AI IN 2023 conference at the University of Innopolis. Krinitsky introduced a unique perspective on the application of artificial intelligence (AI) methods in Earth sciences. Particular attention is given to the successful utilization of AI in monitoring and research tasks in the field of oceanology, as well as the high-potential capabilities of AI in various monitoring observation tasks, accelerating chamber and field studies, and more accurately assessing factors regulating the dynamics of the atmosphere and ocean. The article also addresses the challenges and issues arising from the application of AI in fundamental sciences, and Krinitsky's team's endeavor to develop methods to enhance the academic community's trust in the results obtained with the help of AI.

Keywords: artificial intelligence, P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, climate change monitoring, AI IN 2023 conference, application of AI in Earth sciences

Acknowledgment. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state task No. FMWE-2021-0003).

УДК: 551.583

DOI: 10.5281/zenodo.10066612

Возобновляемая энергетика и изменение климата

Пенджиев Ахмет Мырадович ^[0000-0002-6584-5851]Туркменский государственный архитектурно-строительный институт,
Туркменистан, Ашхабад

E-mail: ampenjiyev@gmail.com

Аннотация. На основе аналитического анализа потенциала экоэнергетических ресурсов возобновляемых источников энергии и изменения климата, потенциала смягчения последствий и затрат, стратегии Туркменистана по изменению климата, спроса на энергию и парникового эффекта, вариантов сокращения выбросов, гетерогенного класса возобновляемых технологий (солнечная, ветровая, биоэнергетика, геотермальная и гидроэнергетика). Исследования, проведенные на сегодняшний день, показывают, что изменение климата, как ожидается, не окажет существенного влияния на глобальный технический потенциал развития ветроэнергетики, но можно ожидать изменений в региональном распределении ресурсов ветроэнергетики. Ожидается, что изменение климата не окажет существенного влияния на количество или географическое распределение геотермальных, океанских и морских энергетических ресурсов.

Ключевые слова: солнечная энергия, ветер, геотермальная энергия, изменение климата, возобновляемые источники энергии, Туркменистан.

1 Предисловие

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) можно назвать главным претендентом на статус энергоресурса будущего, и это очевидно. Неравномерное распределение мировых минеральных ресурсов, быстрый рост населения планеты, политические конфликты заставили большинство стран стремиться к энергетической независимости. Частично этого можно достичь как раз за счет производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии. При этом остро стоит вопрос снижения негативного воздействия на окружающую среду и, в частности, минимизации выбросов парниковых газов в атмосферу, приводящих к парниковому эффекту.

Например, оценки жизненного цикла (LCA) производства электроэнергии показывают, что выбросы парниковых газов (ПГ) от технологий использования возобновляемых источников энергии, как правило, значительно ниже, чем выбросы, связанные с использованием ископаемого топлива, и, при определенных условиях, ниже, чем выбросы от ископаемого топлива с использованием улавливания и хранения углерода (CCS). Средние значения для всех ВИЭ варьируются от 4 до 46 гСО₂-экв/кВтч, тогда как средние значения для ископаемого топлива колеблются от 469 до 1001 гСО₂-экв/кВтч (исключая выбросы в результате изменений в землепользовании). И это еще одно преимущество ВИЭ, поскольку в процессе производства электроэнергии и тепла отсутствуют выбросы парниковых газов. [1-5,15,16].

Стремительное развитие энергетики на основе возобновляемых источников энергии выражается в совершенствовании существующих технологий и снижении капитальных затрат и себестоимости вырабатываемой электроэнергии, и это в первую очередь касается солнечной и ветровой энергетики.

2 Введение

Изменение климата является одной из главных проблем XXI века. Его самых серьезных последствий еще можно избежать, если приложить усилия по преобразованию существующих энергетических систем. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) обладают огромным потенциалом для замены выбросов парниковых газов в результате сжигания ископаемого топлива и, таким образом, для смягчения последствий изменения климата [4-7].

При правильном внедрении ВИЭ могут способствовать социальному и экономическому развитию, обеспечивая доступ к энергии, обеспечивая надежное и устойчивое энергоснабжение, а также снижая негативное воздействие энергоснабжения на окружающую среду и здоровье человека [1-5].

В этой статье «ВИЭ и климат» представлена объективная оценка научной литературы о потенциальной роли возобновляемых источников энергии в смягчении последствий изменения климата для политиков, частного сектора, академических исследователей и гражданского общества. Охватывает шесть видов возобновляемой энергии, доступных в Туркменистане – биоэнергетику, прямую солнечную энергию, геотермальную энергию, гидроэнергетику, морскую энергию и энергию ветра, а также их интеграцию в существующие и будущие энергетические системы. Они рассматривают экологические и социальные последствия, связанные с внедрением таких технологий, и предлагают стратегии для преодоления как технических, так и нетехнических барьеров на пути их внедрения и распространения [4-9].

3 Потенциал смягчения и затраты

Значительный рост использования возобновляемой энергии к 2030, 2050 году и далее отмечается в большинстве сценариев, рассмотренных в 2008 году. Общий объем производства возобновляемой энергии составил около 64 ЭДж/год (12,9% от общего объема поставок первичной энергии), что превышает 30 ЭДж/год приходилось на традиционную биомассу. Более 50% сценариев предполагают, что уровень использования возобновляемых источников энергии в 2050 году составит более 173 ЭДж/год, а в некоторых случаях достигнет уровня более 400 ЭДж/год.

Учитывая, что использование традиционной биомассы в большинстве сценариев сокращается, соответствующее увеличение уровня производства возобновляемой энергии (исключая традиционную биомассу) прогнозируется примерно от трех до более чем десяти раз.

Доля ВИЭ в мировом производстве первичной энергии существенно различается в разных сценариях. В большинстве сценариев доля ВИЭ составит более 17% поставок первичной энергии в 2030 году и увеличится до более чем 27% в 2050 году. Сценарии с самой высокой долей потребления возобновляемой энергии достигают около 43% в 2030 году и 77% в 2050 году [3-5,11-16].

Стратегия Туркменистана по изменению климата. Туркменистан предпринимает практические шаги в сфере изменения климата: внедрение современных технологий во всех сферах экономики сокращает выбросы парниковых газов; приняли Национальную стратегию по изменению климата, Национальную стратегию развития возобновляемой энергетики до 2030 года и новый Закон Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии»; Ежегодно в стране высаживают миллионы деревьев [1,2,4-9,14].

Определенная работа ведется по выполнению обязательств по Парижскому климатическому соглашению. Предлагаемые им обязательства являются подтверждением амбициозной цели Туркменистана по сокращению выбросов парниковых газов к 2030 году в ключевых секторах экономики. Особое внимание в этом контексте уделяется снижению выбросов метана. В этой связи туркменская сторона приветствует новую инициативу «Глобального обязательства по метану» и выражает заинтересованность в ее детальном изучении с целью возможного предметного участия.

Туркменистан планирует добиться в среднесрочной перспективе нулевого роста выбросов парниковых газов, начиная с 2030 года, а в долгосрочной перспективе – ежегодного существенного сокращения. Наша страна рассчитывает достичь этих показателей как за счет собственных финансовых ресурсов, так и при технической и финансовой поддержке международных организаций и финансовых институтов.

Спрос на энергию и парниковый эффект. Растут сопутствующие услуги по обеспечению социально-экономического развития и улучшению благосостояния

и здоровья людей. Все общества нуждаются в энергоснабжении для удовлетворения основных потребностей человека (например, освещение, приготовление пищи, пространственный комфорт, передвижение и общение) и для поддержания производственных процессов. С 1850 года глобальное использование ископаемого топлива (уголь, нефть и газ) возросло и стало доминировать в энергоснабжении, что привело к стремительному росту выбросов углекислого газа (CO₂).

Выбросы парниковых газов (ПГ) в результате энергоснабжения в прошлом внесли значительный вклад в увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, создавая тем самым «парниковый эффект». Что в середине XX века повышение средней глобальной температуры было во многом вызвано наблюдаемым ростом концентрации антропогенных парниковых газов.

По последним данным, на потребление ископаемого топлива приходится большая часть глобальных антропогенных выбросов парниковых газов. Выбросы продолжают расти, и к концу 2010 года концентрация CO₂ превысила доиндустриальный уровень более чем на 39%.

варианты сокращения выбросов. ВИЭ могут помочь ускорить доступ к энергии, особенно для 1,4 миллиарда человек, не имеющих доступа к электричеству, и еще 1,3 миллиарда человек, использующих традиционную биомассу. Базовый уровень доступа к современному энергоснабжению может принести значительную пользу сообществу или домашнему хозяйству [3-6,15,16].

Во многих развивающихся странах децентрализованные сети возобновляемых источников энергии и включение возобновляемых источников энергии в централизованные сети расширили и улучшили доступ к энергии. Кроме того, технологии неэлектрической возобновляемой энергетики также открывают возможности для модернизации систем энергоснабжения, например, использование солнечных батарей.

энергия для нагрева воды и сушки сельскохозяйственной продукции, биотопливо для транспорта, биогаз и современная биомасса для отопления, охлаждения, приготовления пищи и освещения, а также ветер для перекачки воды.

Ожидается, что число людей, не имеющих доступа к современным источникам энергии, останется неизменным до тех пор, пока не будет реализована соответствующая внутренняя политика, которая, при необходимости, может быть поддержана или дополнена международной помощью.

Существует множество вариантов сокращения выбросов парниковых газов в энергетической системе при одновременном удовлетворении глобального спроса на энергоснабжение. Некоторые из вариантов включают, например, энергосбережение и энергоэффективность, отказ от ископаемого топлива, возобновляемых источников энергии, ядерной энергетики и улавливания и хранения углерода (CCS). Комплексная оценка портфеля вариантов смягчения последствий будет включать оценку их соответствующего потенциала смягчения последствий, а также их вклада в устойчивое развитие и любых связанных с этим рисков и затрат. Данная статья посвящена обзору научных работ по применению технологий возобновляемой энергетики, которые могут сыграть роль в смягчении последствий изменения климата и устойчивом развитии [4-9].

Туркменистан обладает огромным ресурсным потенциалом для смягчения последствий изменения климата, а ВИЭ могут принести широкие выгоды. При правильном внедрении технологии возобновляемой энергетики способствуют социальному и экономическому развитию, доступу к энергии, безопасности энергообеспечения, а также снижают негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

В большинстве случаев увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе потребует политики, стимулирующей изменения в энергетической системе. В последние годы использование технологий возобновляемой энергетики в мире резко возросло, и по прогнозам, их доля значительно увеличится в самых амбициозных сценариях международных проектов по смягчению последствий изменения климата. Потребуется дополнительные политические действия для увеличения необходимых инвестиций в технологии и инфраструктуру.

4 Гетерогенный класс возобновляемых технологий

ВИЭ представляет собой разнородный класс технологий: при прямом преобразовании *солнечной энергии* используется энергия солнечного излучения для производства электроэнергии с использованием фотоэлектрических элементов и концентрируется солнечная энергия для производства тепловой энергии (нагрев или охлаждение с использованием пассивных или активных средств), чтобы удовлетворить потребности в прямом освещении и для потенциального производства топлива, которое можно использовать для транспорта и других целей.

Степень развития технологий применения солнечной энергии варьируется от исследований и разработок (НИОКР) (например, топливо, полученное из солнечной энергии) до относительно готовых и готовых технологий (например, пассивное и активное солнечное отопление и фотоэлектрические элементы на кремниевых пластинах).

Многие, но не все технологии имеют модульный характер, что позволяет использовать их как в централизованных, так и в децентрализованных энергетических системах.

Солнечная энергия нестабильна и в некоторой степени непредсказуема, хотя временной профиль выработки солнечной энергии при некоторых обстоятельствах относительно хорошо коррелирует со спросом на энергию. Хранение тепловой энергии открывает возможности для улучшения управления выработкой энергии для некоторых технологий, таких как концентрация солнечной энергии и прямое солнечное отопление [5-8,11-13].

Ветроэнергетика использует кинетическую энергию воздушного потока. Основным применением, имеющим отношение к смягчению последствий изменения климата, является выработка электроэнергии большими ветряными турбинами, расположенными на суше (суша) или в море или пресной воде (прибрежье).

Технологии береговой ветроэнергетики уже производятся и применяются в крупных масштабах.

Весь. Морские ветроэнергетические технологии имеют большой потенциал для постоянного технического совершенствования. Ветровая электроэнергия непостоянна и в некоторой степени непредсказуема, но опыт и детальные исследования во многих регионах мира показали, что интеграция ветроэнергетики обычно не создает непреодолимых технических барьеров [5-8] .

Биоэнергию можно получить из разнообразного сырья биомассы, включая хлопковую биомассу и *сельскохозяйственные* отходы, а также отходы животноводства; лесные насаждения с коротким оборотом рубок; энергетические культуры; органическая составляющая твердых бытовых отходов и других видов органических отходов. С помощью различных процессов это сырье можно использовать непосредственно для выработки электроэнергии или тепла или для создания газообразного, жидкого или твердого топлива. Спектр биоэнергетических технологий широк, а уровень их технического развития существенно различается. Некоторыми примерами коммерчески доступных технологий являются малые и большие котлы, бытовые системы отопления на основе гранулированного топлива, а также производство этанола из сахара и крахмала.

Передовые электростанции комбинированного цикла с комплексной газификацией биомассы и транспортное топливо на основе лигноцеллюлозы являются примерами технологий, которые находятся на предкоммерческой стадии, тогда как жидкое биотопливо на основе водорослей и некоторые другие методы био-конверсии находятся на стадии НИОКР.

Биоэнергетические технологии находят свое применение в централизованных и децентрализованных установках, при этом традиционная биомасса в настоящее время наиболее широко используется в развивающихся странах. Биоэнергетика обычно предлагает непрерывное или контролируемое производство энергии. Биоэнергетические проекты обычно зависят от наличия местных и региональных поставок топлива, но недавние события показывают, что твердая биомасса и жидкое биотопливо все чаще проникают в международную торговлю [4-9] .

Геотермальная энергия использует доступную тепловую энергию из недр Земли. Тепло извлекается из геотермальных резервуаров с помощью скважин или других способов. Резервуары, которые по своей природе достаточно горячие и проницаемые, называются гидротермальными резервуарами, а резервуары, которые достаточно горячие, но усилены гидравлическим воздействием, называются улучшенными геотермальными системами (AGS).

Оказавшись на поверхности, жидкость различной температуры может быть использована для выработки электроэнергии или непосредственно в тех областях, где необходима тепловая энергия, в том числе

централизованное отопление или использование низкотемпературного тепла из неглубоких колодцев для геотермальных тепловых насосов для отопления или охлаждения. Гидротермальные электростанции и тепловое применение геотермальной энергии являются технически развитыми технологиями, а проекты ПХГ

находятся на стадии демонстрации и пилотных испытаний, а также проходят стадию НИОКР. Когда геотермальные электростанции используются для выработки электроэнергии, они обычно обеспечивают постоянную мощность [4-9] .

Морская энергия получается из потенциальной, кинетической, тепловой и химической энергии морской воды, которую можно преобразовать для производства электроэнергии, тепловой энергии для питья или воды. Возможен широкий спектр технологий, таких как приливные плотины, подводные турбины для приливных и океанских течений, теплообменники для преобразования тепловой энергии океана и различные устройства для использования энергии волн и градиентов солености. Технологии использования энергии океана, за исключением приливных плотин, проходят демонстрационные и пилотные испытания, и многие из них требуют дополнительных НИОКР. Некоторые технологии имеют переменные профили выходной энергии с различными уровнями предсказуемости (например , волны, амплитуда приливов и течений), в то время как другие технологии могут обеспечивать почти постоянную или даже контролируемую работу (например, тепловая энергия океана и градиент солености).

Гидроэнергетика использует энергию воды, перемещающуюся с более высоких уровней на более низкие, главным образом для выработки электроэнергии. Гидроэнергетические проекты включают проекты плотин с водохранилищами, проекты естественного стока рек и ручьев и осуществляются постоянно в масштабе проекта. Это разнообразие дает гидроэнергетике возможность удовлетворять крупные централизованные потребности городов, а также децентрализованные потребности сельской местности [5] .

Гидроэнергетические технологии – это развитые технологии. Гидроэнергетические проекты используют ресурс, который меняется со временем. Однако контролируемая выработка энергии, обеспечиваемая водохранилищами гидроэлектростанциями, может быть использована для удовлетворения пикового спроса на электроэнергию и помощи в балансировке систем возобновляемой энергии. Эксплуатация гидроэлектрических водохранилищ часто отражает их множественное использование, например, для снабжения питьевой водой, орошения, борьбы с наводнениями и борьбы с засухой, а также для судоходства и энергоснабжения.

Повлияет ли изменение климата на возобновляемую энергетику? Изменение климата повлияет на объемы и географическое распределение технического потенциала ВИЭ, однако исследования масштабов таких возможных последствий находятся в зачаточном состоянии. В связи с тем, что возобновляемая энергетика во многом зависит от климата, глобальное изменение климата повлияет на ресурсную базу возобновляемой энергетики [5-8,11-13] .

Повлияет ли изменение климата на возобновляемую энергетику? Изменение климата повлияет на объемы и географическое распределение технического потенциала ВИЭ, однако исследования масштабов таких возможных последствий находятся в зачаточном состоянии. В связи с тем, что возобновляемая энергетика во многом зависит от климата, глобальное изменение климата повлияет на ресурсную базу возобновляемой энергетики.

На будущий технический потенциал биоэнергетики может повлиять изменение климата через воздействие на производство биомассы, например, через изменения в почвенных условиях, количестве осадков, урожайности сельскохозяйственных культур и других факторах. Ожидается, что общее воздействие изменения глобальной средней температуры менее чем на 2°C на технический потенциал биоэнергетики будет относительно небольшим в глобальном масштабе. Однако можно ожидать значительных региональных различий, а неопределенности больше, и их труднее оценить по сравнению с другими вариантами ВИЭ из-за большого количества задействованных механизмов обратной связи.

Что касается солнечной энергетики, хотя ожидается, что изменение климата повлияет на распределение и изменчивость облачного покрова, влияние этих изменений на общий технический потенциал будет небольшим. Что касается гидроэнергетики, то общее воздействие на глобальный технический потенциал, как ожидается, будет слегка положительным. Однако результаты также указывают на возможность значительных колебаний по регионам и даже по странам.

Исследования, проведенные на сегодняшний день, показывают, что изменение климата, как ожидается, не окажет существенного влияния на глобальный технический потенциал развития ветроэнергетики, но можно ожидать изменений в региональном распределении ресурсов ветроэнергетики. Ожидается, что изменение климата не окажет существенного влияния на количество или географическое распределение геотермальных или океанических и морских энергетических ресурсов [4-8,11-13] .

5 Заключение

Таким образом, использование местных возобновляемых источников энергии может снизить потребность в ископаемом топливе в некоторых случаях до 80 процентов. Значительной экономии энергии можно добиться за счет внедрения инновационных технологий — от производства первичной энергии до конечного потребления. Задача внедрения возобновляемых источников энергии является одной из наиболее актуальных и перспективных для освоения пустынных территорий Туркменистана. Ее решение позволит повысить эффективность использования топливно-энергетических и материальных ресурсов при производстве широкого спектра промышленной и сельскохозяйственной продукции, снизить энергоемкость ископаемого топлива и смягчить антропогенную нагрузку на изменение климата [3-7,11- 16] .

Литература

1. Бердымухамедов Г.М. Туркменистан находится на пути достижения целей устойчивого развития. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2018. – 468 с.

2. Бердымухамедов Г.М. Электроэнергетика Туркменистана. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская служба, 2022. – 130 с.
3. Соловьёв Д.А., Залиханов А.М. Изменение климата и энергетика: влияние, прогноз и последствия. Журнал охраны окружающей среды и энергетики. 2021. № 3. с.62-68.
4. Пенджиев А.М. Изменение климата и возможности снижения антропогенных нагрузок: книга / А.М. Пенджиев. – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 164 с.
5. Пенджиев А.М. Экоэнергетические ресурсы возобновляемых источников энергии: монография. -Москва: Русайнс, 2023. - 400 с.
6. Пенджиев А.М. Возобновляемая энергетика и экология (резюме статей). // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 08 (148). – С. 45-78.
7. Пенджиев А.М. Перспективы альтернативной энергетики и ее экологический потенциал в Туркменистане. // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 9 (77). – С. 131-139.
8. Пенджиев А.М. Платформа стратегического партнерства в Центральноазиатском регионе для смягчения последствий изменения климата. // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 7. – С. 88-94.
9. Пенджиев А.М. Последствия изменения климата в Центральной Азии и возможности их смягчения на основе возобновляемых источников энергии. // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 5-6 (102-110). – С. 197-207.
10. Пенджиев А.М. Экологические проблемы энергетики и роль альтернативных источников энергии в Центральноазиатском регионе // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 4 (108). – С.101-116.
11. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин. НК. Солнечная энергетика: Учебник для вузов. Под общей ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – 276 с.
12. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане // М.: ГНУ ВИЕСХ. 2012.
13. Пенджиев А.М. Основы ГИС в развитии возобновляемой энергетики: монография // – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 308 с.
14. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь: монография // – Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 с.
15. Возобновляемые источники энергии и смягчение последствий. <https://caneecsa.org> › книги › возобновляемые-источники...
16. «Изменение климата в 2022 году: последствия, адаптация и уязвимость». https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf).

References

1. Berdymukhamedov GM Turkmenistan na puti dostizheniya tseley razvitiya. – Ashkhabad: Turkmenkaya gosudarstvennaya publishing house sluzhba, 2018. – 468 s.
2. Berdymukhamedov GM Elektroenergeticheskaya moshch' Turkmenistana. – Ashkhabad: Turkmenkaya gosudarstvennaya publishing house sluzhba, 2022. – 130 s.
3. Solav'yev DA, Zalikhanov AM Klimaticheskiye change i energetika : vliyaniye, prognoz i posledstviya. Zhurnal "Okhrana okruzhayushchey Wednesday i energovedeniye. 2021. No. 3. S.62-68.

4. Penjiyev AM *Izmeneniye climate i vozmozhnosti primeneniya anthropogenic veshchestv : kniga / AM Penjiyev . – Germaniya : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. – 164 s.*
5. Penjiyev AM *Ekoenergeticheskiye resursy vozobnovlyayemykh istochnikov energii : monografiya . -Moskva: Rusayns , 2023.- 400 s.*
6. Penjiyev AM *Vozobnovlyayemaya energetika i ekologiya (obobshcheniye statey). // Alternativnaya energetika i ekologiya . – 2014. – No. 08 (148). – S. 45-78.*
7. Penjiyev AM *Perspektivy al'ternativnoy energetiki i yeye ekologicheskoy potentsial v Turkmenistan . // Alternativnaya energetika i ekologiya . – 2009. – No. 9 (77). – S. 131-139.*
8. Penjiyev AM *Platforma strategicheskogo partnershtva v Tsentral'no-aziatskikh stranakh po smyagcheniyu change klimata / AM Penjiyev // Alternativnaya energetika i ekologiya . – 2012. – No. 7. – S. 88-94.*
9. Penjiyev , AM *Posledstviya change climate v Tsentral'noy Azii i vozmozhnosti smyagcheniya na osnove VIE.// Alternativnaya energetika i ekologiya . – 2012. – No. 5-6 (102-110). – S. 197-207.*
10. Penjiyev AM *Ekologicheskkiye problemy ustoychivosti i rol ' al'ternativnykh istochnikov energii v Tsentral'no-aziatskikh stranakh / AM Penjiyev // Alternativnaya energetika i ekologiya . – 2012. – No. 4 (108). – S.101-116.*
11. Vissarionov VI, Deryugina GV, Kuznetsova VA, Malinin NK *Solnechnaya energetika : uchebnoye posobiye dlya vuzov . Pod obshch . red. VI Vissarionova . - M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2008. - 276 s.*
12. Strebkov DS, Penjiyev AM, Mamedsakhmatov BD *Razvitiye solnechnoy energetiki v Turkmenistane // M.: GNU VIESKH. 2012.*
13. Penjiyev AM *Osnovy GIS v razvitiy vozobnovlyayemoy energetiki : monografiya / Penjiyev AM – Germaniya : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 308 s.*
14. Penjiyev AM *Ekologicheskkiye problemy osvoyeniya pustyn ': monografiya / AM Penjiyev . – Germaniya : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 226 s.*
15. *Vozmozhnyye istochniki energetiki i smyagcheniya . <https://canececa.org> > knigi > vozobnovlyayemye-isto ...*
16. *" Izmeneniye " klimata v 2022 godu : posledstviya , adaptatsiya i uyazvimost ". https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf.*

Impact of Renewable Energy Sources on Climate Change

Penjiyev Ahmet ^[0000-0002-6584-5851]

Turkmen State Institute of Architecture and Civil Engineering, Turkmenistan, Ashgabat

E-mail: ampenjiyev@gmail.com

Abstract. Based on the analytical analysis of the eco-energy resource potentials of renewable energy sources and climate change, the potential for mitigation and costs, the strategy of Turkmenistan on climate change, energy demand and the greenhouse effect, options for reducing emissions, a heterogeneous class of renewable technologies (solar, wind, bioenergy, geothermal and hydropower). Research to date suggests that climate change is not expected to significantly affect the global technical potential for wind energy development, but changes in the regional distribution of wind energy resources can be expected. Climate change is not expected to have a significant impact on the amount or geographic distribution of geothermal or ocean and marine energy resources.

Keywords: solar, wind, geothermal energy, climate change, renewable energy, Turkmenistan

УДК 504.064.4:620.9(470)

DOI: 10.5281/zenodo.10066689

**Систематизация ключевых направлений и
индикаторов адаптации отраслей топливно-
энергетического комплекса России к последствиям
климатических изменений**

Саенко Владимир Васильевич ^[0000-0002-7004-7205],
Колпаков Андрей Юрьевич ^[0000-0003-4812-4582]

Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН,
117418, г. Москва Нахимовский проспект, д. 47

E-mail: vv_saenko@mail.ru, kolpakov@ecfor.ru

Аннотация. В статье описаны тенденции климатических изменений, которые оказывают существенное влияние на функционирование ТЭК России. Далее систематизирована информация о воздействии климатических изменений на объекты ТЭК, а также об уязвимости и возможных мерах адаптации объектов ТЭК к климатическим изменениям. Все меры адаптации проанжированы в зависимости от степени рисков, на смягчение которых они (меры) нацелены. Степень рисков качественно определена на основе анализа динамики изменений климата и сопряженных с ними опасных метеорологических явлений. Все меры адаптации предполагают понятные инженерно-технические и организационные мероприятия, поэтому могут быть эволюционно вплетены в регулярную систему управления топливно-энергетическими отраслями.

Ключевые слова: ТЭК, изменение климата, многолетняя мерзлота, опасные явления, адаптация, энергетическая безопасность.

1 Введение

При разработке национальной климатической политики в России ведущая роль традиционно отводится топливно-энергетическому комплексу (ТЭК). Это понятно: функционирование отраслей ТЭК ответственно более чем за половину всех антропогенных эмиссий парниковых газов – они называются большинством

климатологов ключевым драйвером изменения климата, и поэтому при выстраивании политики смягчения будущих климатических изменений акцент делается на низкоэмиссионной трансформации ТЭК. Однако не менее важно включение ТЭК в контур разработки принципов и механизмов политики адаптации к изменениям климата, которые оцениваются как неизбежные даже в самых фантастических сценариях декарбонизации всех сфер экономики и общества [1].

Климатические характеристики, частота и степень различных погодных явлений определяют инженерно-технические и строительные требования для объектов ТЭК. Изменения климата означают динамический характер указанных факторов. Другими словами, энергетическая инфраструктура, срок жизни которой измеряется десятилетиями, а также эксплуатирующие ее службы должны быть надежны и эффективны не только в современных, но и в условиях середины XXI века; должны перестраиваться с учетом меняющихся условий окружающей среды и быть способны оперативно реагировать на негативные последствия таких преобразований.

Реализация эффективной политики адаптации к изменениям климата в отношении ТЭК (прямо или косвенно) является условием достижения целей Доктрины энергетической безопасности России по следующим направлениям: (а) надежное и устойчивое обеспечение потребителей энергоресурсами; (б) обеспечение технической доступности инфраструктуры ТЭК для потребителей; (в) обеспечение защиты инфраструктуры ТЭК от чрезвычайных ситуаций (ЧС); (г) ограничение отрицательного воздействия ТЭК на окружающую среду; (д) защита населения и территорий от ЧС на объектах ТЭК [2, п. 22].

2 Тенденции изменения климата на территории России

Ниже на основе данных Росгидромета [3] приведен анализ изменения основных характеристик климата России (таблицы 1–3), которые потенциально влияют на объекты ТЭК и режимы их функционирования.

Среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1991–2020 гг.) температуры воздуха в 2022 г. в среднем по России составила $+0,87$ °С. Потепление климата, начавшееся в 1970-е гг., продолжается на всей территории России как для среднегодовой температуры, так и во все сезоны года. Скорость увеличения среднегодовой температуры в России оценивается в $+0,49$ °С за 10 лет. Наиболее быстрое потепление наблюдается весной ($+0,64$ °С за 10 лет). Быстрее всего температура росла в Северо-Западном, Центральном и Южном ФО; наиболее медленное потепление отмечено в Сибирском ФО.

Таблица 1. Оценка скорости увеличения средней температуры приземного воздуха в России за период 1976–2022 гг. в разные сезоны года (°С за 10 лет)

Территория / Сезон	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
Россия	0,49	0,44	0,64	0,4	0,49
Северо-Западный ФО	0,56	0,76	0,46	0,47	0,53
Центральный ФО	0,57	0,76	0,39	0,61	0,54
Приволжский ФО	0,48	0,53	0,42	0,45	0,52
Южный ФО	0,56	0,61	0,43	0,74	0,49
Северо-Кавказский ФО	0,48	0,53	0,36	0,62	0,44
Уральский ФО	0,48	0,43	0,77	0,32	0,37
Сибирский ФО	0,42	0,32	0,82	0,3	0,27
Дальневосточный ФО	0,51	0,37	0,67	0,4	0,62

Источник: [3].

Общее потепление в стране сопровождается ярко выраженными локальными трендами. Например, в европейской части России учащаются крупномасштабные летние волны тепла (если за период 1961–1980 гг. их наблюдалось всего три, то в 2001–2020 гг. лишь одно лето 2004 г. прошло без таких волн); в Арктике происходит сокращение площади ледового покрова Северного Ледовитого океана и морей акватории Северного морского пути (по сравнению со значениями, характерными концу летних сезонов 1980–1996 гг. к 2007 г. ледовитость снизилась более чем в 3 раза, и в последние 15 лет колеблется примерно на одном уровне). Важнейшее значение имеет проблема деградации многолетней мерзлоты: скорость увеличения мощности сезонно талого слоя в регионах, где расположены важные объекты ТЭК, оценивается в 13–38% за 10 лет, т.е. как очень существенная.

Одновременно с потеплением в России увеличивается количество выпадающих осадков – в среднем на 1,8% за 10 лет. В европейской части страны и Западной Сибири растет частота и продолжительность отложений мокрого снега и гололеда. Кроме того, на территории России в целом происходит увеличение суммарного стока рек.

Изменения климата в России сопровождаются растущей динамикой опасных метеорологических явлений. За последнее десятилетие удвоилось количество явлений сильной жары; примерно на 80% выросло число заморозков; в полтора раза – сильных морозов; на 40% – сильных осадков и ветра; на 30% – гололедных отложений. При этом снижается частота града, снежных метелей, смерчей, тумана и мглы. Почти 60% опасных метеорологических явлений в 2022 г. зафиксировано в Дальневосточном, Сибирском и Южном ФО.

Таблица 2. Мощность сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты в некоторых регионах расположения объектов ГЭЖ, см

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Скорость изменения, % за 10 лет
Уренгой	84	65	77	72	87	70	76	85	74	67	111	103	120	114	120	38%
Игарка	74	71	67	70	69	72	79	89	93		94	88	101	102	105	33%
Надым	136	101	114	129	134	136	164	163	186	148	178	176	197	196	199	19%
Норильск	94	94	94	96	104	86	95	102	84	106	104	113	95	122	113	15%
Ямал	113	82	106	114	128	126	111	129	144	118	116	114	135	123	125	13%

Примечание: скорость изменения оценена на основе соотношения линейного тренда и среднего значения за всю историю наблюдений. Источник: рассчитано авторами по данным [3].

Таблица 3. Динамика опасных метеорологических явлений в 2005–2022 гг.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2021	2022	Скорость изменения, % за 10 лет
Сильная жара	7	15	13	9	12	39	23	53	20	39	42	40	29	33	48	68	53	105%
Заморозки	25	25	39	34	37	42	32	54	46	46	63	67	81	88	67	64	58	79%
Сильный мороз	5	11	7	11	23	37	26	31	37	61	33	31	26	23	14	60	12	52%
Сильные осадки	85	94	84	80	95	87	98	124	127	110	115	157	124	144	131	142	123	40%
Сильный ветер	76	83	95	89	75	104	75	91	113	110	118	99	108	129	136	134	111	37%
Гололедно-изморозные отложения	18	10	23	13	6	24	8	14	9	12	17	31	22	20	10	14	25	27%
Град	19	22	29	24	17	15	17	25	25	30	20	21	25	20	20	29	13	-2%
Метель и снег	20	25	25	30	35	35	23	25	29	18	16	38	32	28	15	9	12	-22%
Смерч	5	9	9	10	9	6	12	11	0	9	5	1	1	1	6	4	4	-43%
Туман и мгла	6	6	6	6	1	8	1	2	0	3	0	2	7	1	5	3	1	-59%
Итого выделенные явления	266	300	330	306	310	397	315	430	406	438	429	487	455	487	452	527	412	+36%

Примечание: скорость изменения оценена на основе соотношения линейного тренда за 2005–2022 гг. и среднего значения за 2008–2012 гг.

Источник: рассчитано авторами по данным [3].

Согласно данным МЧС России, число природных чрезвычайных ситуаций увеличилось в 2015–2022 гг. в среднем на 8 штук в год, а суммарный ущерб от них превысил 110 млрд руб. за указанный период [4].

3 Анализ воздействия климата на объекты ТЭК

Функционирование всех отраслей ТЭК подвержено воздействию климата и метеорологических явлений [5–8]:

- температурные режимы и осадки влияют на эффективность добычи и транспортировки нефти и газа, а также производства сжиженного природного газа (СПГ); состояние многолетнемерзлых пород – на расположение и уровни надежности при строительстве объектов добычи и транспортировки нефти и газа;
- температурные режимы и влажность воздуха влияют на качественные характеристики добываемого угля, а также на требования надежности к его хранению и транспортировке;
- температура воздуха определяет эффективность работы и охлаждения оборудования тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций;
- объем осадков определяет производственный потенциал гидроэлектростанций (ГЭС); экстремальные погодные явления создают риски повреждения элементов ГЭС;
- гололедная и ветровая нагрузки создают угрозы повреждения линий электропередачи (ЛЭП); при высоких температурах воздуха возможно растяжение проводов;
- температурные режимы определяют спрос на тепловую энергию в осенне-зимний период; на электроэнергию – в летний период (кондиционирование).

Следующие климатические и погодные явления опасны для ТЭК с точки зрения: (а) формирования рисков выхода из строя сооружений и оборудования энергетического хозяйства; (б) образования экономических ущербов через простои и снижение эффективности в работе:

- деградация многолетней мерзлоты (существенная часть объектов ТЭК находится в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов, что определяет риски деформации и обрушения фундаментов зданий и сооружений, скважин, трубопроводов) [9–12];
- гроза любой интенсивности (может вызвать замыкание ЛЭП);
- сильный (30 м/с и более) ветер (обрыв ЛЭП);
- отложения гололеда (толщиной 20 мм и более), мокрого снега (толщиной 35 мм и более) на ЛЭП (обрыв ЛЭП);
- аномально высокое поступление воды на водосброс ГЭС (риск повреждения и разрушения плотин при недостаточной пропускной способности);
- повышение температуры воздуха (увеличение операционных затрат в электроэнергетике и газовом секторе);

– увеличение уровня морей и океанов (создает риски подтопления прибрежной инфраструктуры – заводов по сжижению природного газа, портов погрузки нефти и СПГ).

4 Политика адаптации объектов ТЭК к изменениям климата

Изменения климата связаны в первую очередь с увеличением повторяемости и интенсивности экстремальных погодных явлений, что определяет все большее воздействие на работу отраслей ТЭК в перспективе [13].

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что адаптация к изменению климата является не опцией, но существенным фактором, учитываемым наравне с другими бизнес-рисками. Как существующая, так и новая энергетическая инфраструктура должна учитывать будущие климатические условия и их воздействие на проектирование, строительство, эксплуатацию, техническое обслуживание. Это обстоятельство понятно и учитывается ведущими энергетическими странами [14–15].

Как показывает международная практика, планирование адаптации – комплексный процесс, охватывающий все уровни государственного и муниципального управления. При этом, разработка и реализация конкретных мер и проектов адаптации осуществляется на локальном уровне, а функции национального правительства включают в первую очередь формирование нормативно-правовой базы, определение общих приоритетов и направлений адаптации, предоставление методического обеспечения и финансирования [16].

В России проведена качественная комплексная оценка климатических рисков для ТЭК (например, [17–19]). В 2022 г. разработан и принят План адаптации к изменениям климата в сфере топливно-энергетического комплекса Российской Федерации [20], в котором представлен детальный (в том числе в территориально-отраслевом разрезе) анализ климатических рисков, которые могут оказать существенное влияние на устойчивое функционирование отраслей ТЭК, с оценкой вероятности наступления и уровня опасности рисков. Кроме того, указанный план содержит перечень приоритетных адаптационных мероприятий, нацеленных преимущественно на: (а) создание механизмов управления адаптацией в сфере ТЭК; (б) разработку информационно-аналитической базы и системы мониторинга в части адаптации к климатическим изменениям; (в) совершенствование нормативной и методической базы для реализации политики адаптации; (г) разработку мер государственного стимулирования и поддержки реализации мер адаптации. Содержание и наполнение документа в целом соответствуют научно-методическим рекомендациям, представляемым для планов адаптации, по крайней мере на текущей стадии реализации политики адаптации на национальном уровне [21–23].

5 Систематизация мер адаптации объектов ТЭК к изменениям климата

В данной статье авторы поставили перед собой цель систематизировать информацию о воздействии климатических изменений на объекты ТЭК (какое погодно-климатическое явление оказывает влияние, и какими метриками можно его описывать), уязвимости (что именно происходит в ТЭК) и возможным мерам адаптации (что необходимо сделать, чтобы снизить риски) объектов ТЭК этим климатическим изменениям. Кроме того, указанная информация дополнена оценкой характера мер адаптации:

(а) не требуются / реализация выгод – климатические изменения создают благоприятные эффекты, и поэтому меры адаптации должны быть нацелены на реализацию возникающего потенциала для получения экономических выгод;

(б) перспективные – климатические изменения не связаны со значительным учащением опасных метеорологических явлений (в соответствии с таблицей 3 в эту группу отнесены туман и мгла, смерчи и сильный ветер, снежные метели, град, гололедно-изморозные отложения), либо объекты ТЭК являются устойчивыми с точки зрения уязвимости к изменениям климата.

(в) приоритетные – климатические изменения связаны с существенным учащением опасных метеорологических явлений (в соответствии с таблицей 3 в эту группу отнесены сильная жара, заморозки и сильный мороз, сильные осадки), либо готовность объектов ТЭК к реализации риска может оказаться недостаточной, а потенциальный ущерб – очень серьезным.

Проведенный анализ представлен в таблицах 4–8.

Для объектов добычи и трубопроводной транспортировки нефти и газа приоритетным направлением является адаптация к процессам деградации многолетней мерзлоты. Высокая значимость данного направления обусловлена: (а) значительной скоростью сокращения мощности сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты в ключевых регионах расположения объектов; (б) давностью разработки строительных норм и правил, регулирующих строительство фундаментов и оснований на многолетнемерзлых грунтах (СНиП 2.02.04-88 были утверждены постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства в 1988 г.). В соответствии со СНиП, месторождения и трубопроводы, строившиеся в последние 3 десятилетия в зоне многолетней мерзлоты, должны иметь свайные фундаменты с запасом глубины в 2 метра. Учитывая динамику сокращения мощности сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты, можно говорить о существовании значительных рисков, по крайней мере для объектов нефтегазовой инфраструктуры в Ямало-Ненецком автономном округе (Уренгой, Надым) и Ванкорском кластере (Игарка). В действительности существует вероятность (и отдельные примеры [24]), что компании закладывали более существенные характеристики устойчивости объектов к протаиванию грунтов при строительстве. Тем не менее, данный риск необходимо учитывать, чтобы избежать деформации и разрушения фундаментов и сооружений в рамках производственных мощностей. В

качестве мер адаптации для существующих объектов может рассматриваться использование устройств по термостабилизации грунта; для новых – увеличение длины свай в свайных фундаментах.

Отдельно следует отметить ситуацию с развитием СПГ-индустрии в России. По состоянию на 2023 г. только ПАО «Новатэк» реализует крупные СПГ-проекты: компания запустила Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений, предназначенный для сборки линий сжижения газа на основаниях гравитационного типа, в том числе с применением собственной технологии крупнотоннажного производства СПГ «Арктический каскад». Указанная технология нацелена на максимальное использование особенностей арктического климата: отрицательные среднегодовые температуры воздуха в Арктике способствуют снижению затрат и повышению производительности на СПГ-заводах [25]. Арктические СПГ-проекты ПАО «Новатэк» будут подвержены негативному влиянию повышения температуры воздуха (рост производственных затрат) и уровня моря/океана (риски подтопления заводов и погрузочных зон), а также деградации многолетней мерзлоты (снижение надежности фундаментов сооружений). Сама компания оценивает степень рисков, связанных с долгосрочными климатическими изменениями, как «средняя», а также отмечает, что учитывает их при проектировании и строительстве производственных мощностей и объектов инфраструктуры. Таким образом, перечисленные направления адаптации СПГ-проектов к изменениям климата следует отнести к перспективным.

Таблица 4. Характеристика влияния изменения климата на объекты добычи и транспортировки нефти и газа

Воздействие на объекты	Уязвимость (чувствительность) объектов	Меры адаптации объектов	Характер мер адаптации
Повышение температуры воздуха <i>Индикатор: Средняя температура</i>	Улучшение условий труда, уменьшение простоев; снижение вязкости нефти	Не требуются / реализация выгод	–
Повышение температуры воздуха; учащение экстремально жарких периодов <i>Индикатор: Средняя температура; число дней с температурами воздуха выше +30 °C; продолжительность и повторяемость волн тепла</i>	Падение мощности компрессорных станций на газовых месторождениях и трубопроводах; снижение производительности заводов по производству СПГ	Использование контактно-испарительного водяного охлаждения и организация подачи охлаждающей воды в проточную часть компрессорных станций; увеличение операционных затрат на производство СПГ	Перспективные
Увеличение количества и продолжительности выпадения осадков	Увеличение коррозии оборудования		Перспективные

дения жидких и смешанных осадков; изменение относительной влажности и температуры воздуха <i>Индикатор: Продолжительность периодов с жидкими и смешанными осадками; продолжительность периодов с относительной влажностью более 70% при температуре выше -1 °С; сумма осадков</i>		Использование химических реагентов - ингибиторов коррозии; использование для новых объектов коррозионностойких материалов и защитных покрытий; снижение влияния коррозионных факторов в скважине (ограничение водотока, предотвращение попадания кислорода, снижение скорости потока и температуры жидкости и газа)	
Повышение уровня моря/океана <i>Индикатор: Уровень моря в местах расположения заводов по производству СПГ</i>	Затопление площадей заводов по производству СПГ и погрузочных зон	Увеличение высоты морских оснований для заводов СПГ	Перспективные
Деградация многолетней мерзлоты и усиление геокриологических процессов <i>Индикатор: Мощность сезонно-талого слоя</i>	Деформация фундаментов и сооружений; приостановка работ	Увеличение длины свай в свайных фундаментах; использование устройств термотабиллизации грунта	Приоритетные

Другим важным перспективным направлением для объектов нефтегазовой отрасли является приспособление к увеличению количества выпадающих осадков и изменению относительной влажности воздуха, что приводит к расширению масштабов коррозии оборудования. Для предотвращения этих процессов предлагается использование специальных химических реагентов, коррозионностойких материалов и защитных покрытий. Кроме того, повышение температуры воздуха и учащение экстремально жарких периодов способно вызвать падение мощности компрессорных станций. В качестве основных мер адаптации предлагается использование различных способов водного охлаждения частей компрессорных станций. С другой стороны, общее потепление в регионах добычи углеводородов будет способствовать улучшению условий труда, а также снижению вязкости нефти, что сопряжено со снижением эксплуатационных затрат в отрасли.

Таблица 5. Характеристика влияния изменения климата на объекты добычи и транспортировки угля

Воздействие на объекты	Уязвимость (чувствительность) объектов	Меры адаптации объектов	Характер мер адаптации
Повышение температуры воздуха в летний сезон <i>Индикатор: Средняя температура в летний сезон</i>	Пересыхание угля; склонность угля к самовозгоранию при хранении	Охлаждение и увлажнение угля путем распыления воды и реагентов	Перспективные
Увеличение количества и продолжительности выпадения жидких и смешанных осадков; изменение относительной влажности и температуры воздуха <i>Индикатор: Продолжительность периодов с жидкими и смешанными осадками; продолжительность периодов с относительной влажностью более 70%;</i>	Повышение влажности добываемого угля	Сушка угля	Перспективные
Учащение заморозков и морозов <i>Индикатор: Число дней с переходом температуры воздуха через уровень 0°C в холодный сезон; число дней с суточной минимальной температурой воздуха ниже -30 °C</i>	Усиление смерзаемости угля	Равномерная обработка угля, дна и стенок вагонов средствами от смерзания, пересыпка угля опилками	Приоритетные

Для объектов по добыче и транспортировке угля наиболее важной проблемой является смерзаемость угля при учащении заморозков и морозов. Это обусловлено общими логистическими ограничениями в отрасли: происходящая переориентация поставок на восток упирается в недостаточную (по сравнению с производственными возможностями российских компаний и спросом на азиатских рынках) пропускную возможность железнодорожной и портовой инфраструктуры, поэтому любые дополнительные сложности с процессом доставки угля до потребителя только усугубят имеющиеся вызовы. В качестве приоритетных адаптационных мер предлагается обработка угля, дна и стенок вагонов средствами от смерзания, а также пересыпка угля опилками.

Таблица 6. Характеристика влияния изменения климата на объекты генерации электроэнергии

Воздействие на объекты	Уязвимость (чувствительность) объектов	Меры адаптации объектов	Характер мер адаптации
Увеличение количества осадков; увеличение интенсивности снеготаяния <i>Индикатор: Среднегодовой приток воды в водохранилища ГЭС</i>	Рост гидроэнергетического потенциала; повышение коэффициента использования установленной мощности ГЭС	Не требуются / реализация выгод	—
Учащение наводнений <i>Индикатор: Суточный максимум осадков; число дней с экстремальными жидкими осадками; количество наводнений</i>	Угрозы повреждения плотин и турбин ГЭС	Обеспечение процессов аварийных остановок и сбросов воды; пересмотр режима работы каскадов ГЭС и водохранилищ	Перспективные
Повышение температуры воздуха <i>Индикатор: Средняя температура</i>	Уменьшение забора воздуха в энергоустановку ТЭС и АЭС вследствие падения его плотности, снижение КИУМ АЭС и ТЭС	Использование льда для охлаждения воздуха перед входом в турбину	Перспективные
Повышение температуры воздуха; учащение экстремально жарких периодов <i>Индикатор: Средняя температура; число дней с температурами воздуха выше +30 °C; продолжительность и повторяемость волн тепла</i>	Уменьшение отвода тепла, снижение эффективности охлаждения ТЭС, увеличение риска аварий	Охлаждение зданий ТЭС с помощью кондиционирования воздуха; альтернативные технологии охлаждения (сухие градирни); регенеративное охлаждение, трубчатые теплообменники	Перспективные

Перспективными направлениями адаптации угольных предприятий являются сушка добываемого угля (реагирование на изменение относительной влажности воздуха и рост количества влажных осадков), а также охлаждение и увлажнение угля при хранении путем распыления воды и реагентов (защита от пересыхания угля и увеличения частоты его самовозгораний на фоне повышения температуры воздуха).

В сфере электрогенерации существует два принципиальных направления воздействия климатических изменений.

Во-первых, увеличение количества осадков и интенсивности снеготаяния способствует росту потенциала выработки электроэнергии на ГЭС, но в то же время возникают угрозы повреждения плотин и турбин ГЭС при наводнениях. Однако

ГЭС проектируются и строятся с очень большим запасом надежности [26], поэтому степень угроз является умеренной. В качестве перспективных мер адаптации возможны пересмотр режима работы ГЭС и водохранилищ, а также аварийные остановки и сбросы воды.

Во-вторых, общее потепление и учащение экстремально жарких периодов создает ряд проблем для работы оборудования АЭС и ТЭС, а именно: снижение эффективности работы и охлаждения генерирующего оборудования. В то же время степень чувствительности оборудования к потеплению окружающего воздуха является относительно скромной [19]. Набор перспективных мер адаптации здесь достаточно широк: от использования льда и систем кондиционирования воздуха до применения альтернативных технологий (например, сухие градирни).

Намного более серьезные вызовы возникают в секторе передачи и распределения электроэнергии, поскольку ЛЭП подвержены рискам замыкания (при грозах), обрывов, повреждения опор (от обледенения и сильного ветра). Ситуация нарушения электроснабжения является одной из наиболее критичных в современных условиях – от надежности подачи электроэнергии зависит не только бесперебойное функционирование коммерческих предприятий и логистических систем, но также сферы жизнеобеспечения. Поэтому применение мер адаптации для защиты ЛЭП должно носить приоритетный характер. Помимо работы служб оперативного реагирования на такие ЧС целесообразно применение более прочных и устойчивых к воздействиям элементов (опоры, провода); установка специальной аппаратуры (для защиты от гроз и раннего обнаружения гололеда); освоение подземного пространства для размещения сетей электропередачи. Как и в других сферах, потепление воздуха создает риски перегрева элементов ЛЭП, поэтому применение высокотемпературных проводов воздушных линий должно быть важным перспективным решением.

Таблица 7. Характеристика влияния изменения климата на объекты передачи электроэнергии

Воздействие на объекты	Уязвимость (чувствительность) объектов	Меры адаптации объектов	Характер мер адаптации
Повышение температуры воздуха; учащение экстремально жарких периодов <i>Индикатор: Средняя температура; число дней с температурами воздуха выше +30 °C; продолжительность и повторяемость волн тепла</i>	Перегрев ЛЭП	Применение высокотемпературных проводов воздушных линий	Перспективные
Усиление грозовой активности	Замыкания ЛЭП	Освоение подземного пространства для размещения	Приоритетные

<i>Индикатор: Число дней с грозами и их продолжительность</i>		электросетевого хозяйства; строительство подстанций закрытого исполнения; выполнение низковольтных линий изолированными проводами более устойчивыми к молниевым поражениям; использование грозозащитной аппаратуры; применение схем с минимальным временем восстановления электроснабжения при грозах	
Учащение случаев обледенения сетей <i>Индикатор: Число дней с переходом температуры через 0 °C в зимний сезон; число дней и часов с мокрым снегом</i>	Обрывы проводов ЛЭП	Установка систем раннего обнаружения гололеда, использование снегооттапливающих проводов, профилактический обогрев проводов	Приоритетные
Учащение сильных ветров <i>Индикатор: Число дней и часов с сильным ветром</i>	Обрывы проводов ЛЭП, повреждения опор ЛЭП	Применение более прочных элементов для сооружения ЛЭП, а также установка опор в дополнение к уже существующим	Приоритетные

Еще одним сопряженным процессом является необходимость обеспечения достаточной и надежной системы электроснабжения городов для гарантированного удовлетворения потребности в кондиционировании воздуха в летние периоды. Дело в том, что мощность генерации в стране достаточна и способна удовлетворить даже существенно более высокий спрос, но доведение электроэнергии до потребителей – локальный вопрос, который должен быть решен на уровне устойчивого развития муниципалитетов. В этом смысле синхронизированное развитие сетевого хозяйства – приоритет политики адаптации к потеплению климата.

Таблица 8. Характеристика влияния изменения климата на объекты ТЭК (кроме рассмотренных выше)

Воздействие на объекты	Уязвимость (чувствительность) объектов	Меры адаптации объектов	Характер мер адаптации
Деградация многолетней мерзлоты и усиление геокриологических процессов <i>Индикатор: Мощность сезонно-талого слоя</i>	Деформация железнодорожных путей, автодорог, таяние зимников	Расширение практики применения технологий строительства с защитой от протаивания	Приоритетные
Учащение штормов на побережье морей <i>Индикатор: Число штормов на побережье морей</i>	Повреждение нефте- и газоналивных терминалов в результате береговой эрозии	Строительство защитных сооружений на территории морских терминалов	Перспективные
Таяние арктического льда вследствие повышения температуры воздуха <i>Индикатор: Площадь и толщина ледового покрова Северного Ледовитого океана</i>	Увеличение навигационного периода на трассе Северного морского пути	Не требуются / реализация выгод	—
Повышение температуры воздуха в осенне-зимний сезон <i>Индикатор: Средняя температура в осенне-зимний сезон, продолжительность отопительного сезона</i>	Сокращение продолжительности отопительного периода; снижение объема потребления энергии на отопление; снижение загрузки мощностей	Не требуются / реализация выгод	—
Повышение температуры воздуха в летний сезон <i>Индикатор: Средняя температура в летний сезон, продолжительность сезона кондиционирования</i>	Удлинение сезона кондиционирования воздуха; увеличение объема потребления энергии на кондиционирование	Увеличение объема мощностей электроснабжения (генерация и сети); увеличение объема топлива; повышение энергоэффективности при потреблении электрической энергии	Приоритетные

Среди уже упомянутых выше (например, потенциальный рост выработки ГЭС), есть еще по крайней мере два важных позитивных эффекта изменения климата в России. Во-первых, это более мягкий осенне-зимний период (в части продолжительности и минимальных температур воздуха) и, соответственно, снижение расхода топлива и нагрузки в системах отопления. Во-вторых, потепление в

Арктике ведет к удлинению навигационного периода на трассе Северного морского пути. С этим трендом в том числе связаны масштабные нефтегазовые проекты, такие как Восток Ойл, Ямал СПГ, Арктик СПГ 2 – эффективность вывоза их продукции напрямую увязана с режимами судоходства в северных акваториях России.

6 Заключение

Выполненная систематизация ясно демонстрирует, что: (а) изменения климата способны значимо воздействовать на функционирование всех секторов ТЭК России; (б) существуют понятные инженерно-технические и организационные мероприятия по адаптации ТЭК с целью снижения возникающих рисков для объектов инфраструктуры и надежности энергоснабжения потребителей. Важно подчеркнуть, что ни одно из направлений адаптации не требует революционных изменений, и абсолютно все упомянутые в работе меры могут быть эволюционно вплетены в регулярную систему управления топливно-энергетическими отраслями.

Адаптационный элемент национальной политики в ТЭК должен быть выстроен поэтапно. На первом этапе определяется необходимая специализированная информация и на этой основе создается система мониторинга климатических характеристик (на региональном уровне), которые оказывают существенное влияние на функционирование организаций ТЭК. На втором этапе получаемая информация используется для формирования показателей уязвимости объектов ТЭК к последствиям изменения климата. На третьем этапе формируются адаптационные мероприятия, необходимые для обеспечения устойчивого развития ТЭК. При этом вырабатывается методическая база для оценки эффективности реализуемых мер, учитывающая баланс сопряженных затрат, ущербов и выгод. В дальнейшем такая оценка осуществляется и применяется для корректировки политики адаптации, что является необходимым условием для обеспечения ее (политики) гибкости и адекватности.

Благодарность: статья подготовлена при поддержке гранта в форме субсидий из федерального бюджета на выполнение научных исследований и работ в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 01.03.2023 № 139-15-2023-003 между Минэкономразвития России и ИПП РАН).

Литература

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.
2. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. Утверждена указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216. Доступно на: <https://minenergo.gov.ru/node/14766>.
3. Росгидромет. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. – Москва, 2023. – 104 стр. ISBN 978-5-906099-58-7. Доступно на: http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_with_cover.pdf.
4. МЧС России. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году. Доступно на: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god>.
5. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере – Санкт-Петербург: «Издательство Кириллица», 2015. – 214 с.
6. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научно-технические технологии, 2022. – 676 с. Доступно на: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf>.
7. Кижнер Л.И., Нахтигалова Д.П. Влияние опасных метеорологических явлений на предприятия топливно-энергетического комплекса Томской области // Вопросы географии Сибири: сборник статей. Томск, 2009. № 27. С. 193-195. Доступно на: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000440613>.
8. Макосок А.А. Климатические риски и экономический комплекс России в XXI веке // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 4-й Международной конференции (4-5 февраля 2021 г., Москва). – М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2021. – С. 64-72.
9. Анисимов О.А., Лавров С.В. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК // Технологии ТЭК. 2004. № 3. С. 78-83.
10. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Колпаков А.Ю., Стрелецкий Д.А. Оценка и прогноз дополнительных затрат нефтедобывающих предприятий на снижение рисков от деградации многолетней мерзлоты // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6. С. 120-130. DOI: 10.47711/0868-6351-195-120-130.
11. Воронина С.А., Порфирьев Б.Н., Семикашев В.В., Терентьев Н.Е., Елисеев Д.О., Наумова Ю.В. Последствия изменений климата для экономического роста и развития отдельных секторов экономики российской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2017. № 4(28). С. 4-17. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-4-17.
12. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для устойчивости дорожной инфраструктуры в российской Арктике // Вестник Российской Академии Наук. 2019. Том 89. № 12. С. 1228-1239. <https://doi.org/10.31857/S0869-587389121228-1239>.

13. Ebinger J., Vergara W. Climate impacts on energy systems : key issues for energy sector adaptation. Washington, D.C. : World Bank Group. 2011. 224 p. Доступно на: <http://documents.worldbank.org/curated/en/580481468331850839/Climate-impacts-on-energy-systems-key-issues-for-energy-sector-adaptation>.
14. Climate Adaptation in the Canadian Mining Sector. Mining Association of Canada. 2014. 31 pp. Доступно на: https://mining.ca/wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/06/Climate_Adaptation_in_the_Canadian_Mining_Sector_2014.pdf.
15. Mason L., Unger C., Lederwasch A., Razian H., Wynne L., Giurco D. Adapting to climate risks and extreme weather: a guide for mining and minerals industry professionals. National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast. 2013. 79 p.
16. Mullan M, Kingsmill N., Kramer A.M., Agrawala S., National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries. OECD Environment Working Papers 54. 2013. DOI: 10.1787/5k483jpfpsq1-en.
17. Бобылев П.М., Дыган М.М. Адаптация к изменению климата: новый вызов развитию электроэнергетики России // Энергетическая политика. 2020. № 3. С. 80-94.
18. Нефедова Л.В. Адаптация энергокомплекса к изменениям климата в Арктике // Энергетическая политика. 2020. № 9. С. 92-103.
19. Тюсов Г.А., Акентьева Е.М., Павлова Т.В., Школьник И.М. Оценка возможного влияния будущих изменений климата России на функционирование объектов энергетики // Метеорология и гидрология. 2017. № 12. С. 47–57.
20. План адаптации к изменениям климата в сфере топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Утвержден Приказом Минэнерго России от 31 марта 2022 года № 280.
21. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. 2017. № 586. С. 7-20.
22. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). – Санкт-Петербург ; Саратов : Амрит, 2020. – 120 с.
23. Порфирьев Б.Н., Макарова Е.А. Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и катастроф // Вестник Российской Академии Наук. 2014. Т. 84. № 12. С. 1059–107.
24. Попов А.П., Милованов В.И., Жмулин В.В., Рябов В.А., Бережной М.А. К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны // Инженерная геология. 2008. № 3. С. 22-38.
25. Имшенецкий В.В., Орлов Ю.Н. Технология СПГ – перспективный вариант освоения ресурсов газа п-ва Ямал. 2005. Доступно на: <http://www.gasforum.ru/wp-content/uploads/2007/09/lng.pdf>.
26. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с. Доступно на: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>.

References

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.
2. Energy Security Doctrine of the Russian Federation. Approved by the decree of the President of the Russian Federation dated May 13, 2019, No. 216. Available at: <https://minenergo.gov.ru/node/14766>.
3. Roshydromet. Report on the Climate Features in the Territory of the Russian Federation for the Year 2022. – Moscow, 2023. – 104 p. ISBN 978-5-906099-58-7. Available at: http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_with_cover.pdf.
4. EMERCOM of Russia. State Report on the Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Emergency Situations of Natural and Man-made Character in 2022. 2023. Available at: <https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2022-god>.
5. Kobysheva N.V., Akentyeva E.M., Galyuk L.P. Climate Risks and Adaptation to Climate Change and Variability in the Technical Sphere – St. Petersburg: "Kirillitsa Publishing House", 2015. – 214 p.
6. Third Assessment Report on Climate Change and its Consequences in the Territory of the Russian Federation / Ed. V. M. Kattsov; Roshydromet. – St. Petersburg: High-Tech, 2022. – 676 p. Available at: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2022/od3.pdf>.
7. Kizhner L.I., Nahtigalova D.P. The Impact of Hazardous Meteorological Phenomena on the Fuel and Energy Complex Enterprises in the Tomsk Region // Issues of Geography in Siberia: Collection of Articles. Tomsk, 2009. No. 27. Pp. 193-195. Available at: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000440613>.
8. Makosko A.A. Climate Risks and the Economic Complex of Russia in the 21st Century // Designing the Future. Problems of Digital Reality: Proceedings of the 4th International Conference (February 4-5, 2021, Moscow). – Moscow: Keldysh Institute of Applied Mathematics, 2021. – Pp. 64-72.
9. Anisimov O.A., Lavrov S.V. Global Warming and the Melting of Permafrost: Risk Assessment for Industrial Facilities of the Fuel and Energy Complex // Technologies of the Fuel and Energy Complex. 2004. No. 3. Pp. 78-83.
10. Porfiryev B.N., Eliseev D.O., Kolpakov A.Y., Streletskiy D.A. Assessment and Forecast of Additional Costs of Oil Extraction Enterprises for Reducing Risks from Permafrost Degradation // Problems of Forecasting. 2022. No. 6. Pp. 120-130. DOI: 10.47711/0868-6351-195-120-130.
11. Voronina S.A., Porfiryev B.N., Semikashev V.V., Terentyev N.E., Eliseev D.O., Naumova Y.V. Consequences of Climate Change for Economic Growth and Development of Individual Sectors of the Russian Arctic Economy // Arctic: Ecology and Economy. 2017. No. 4(28). Pp. 4-17. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-4-4-17.
12. Porfiryev B.N., Eliseev D.O., Streletskiy D.A. Economic Assessment of the Consequences of Permafrost Degradation Under the Influence of Climate Change for the Stability of Road Infrastructure in the Russian Arctic // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89. No. 12. Pp. 1228-1239. <https://doi.org/10.31857/S0869-587389121228-1239>.

13. Ebinger J., Vergara W. Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation. Washington, D.C.: World Bank Group. 2011. 224 p. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/580481468331850839/Climate-impacts-on-energy-systems-key-issues-for-energy-sector-adaptation>.
14. Climate Adaptation in the Canadian Mining Sector. Mining Association of Canada. 2014. 31 pp. Available at: https://mining.ca/wp-content/uploads/dlm_uploads/2021/06/Climate_Adaptation_in_the_Canadian_Mining_Sector_2014.pdf.
15. Mason L., Unger C., Lederwasch A., Razian H., Wynne L., Giurco D. Adapting to climate risks and extreme weather: a guide for mining and minerals industry professionals. National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast. 2013. 79 p.
16. Mullan M, Kingsmill N., Kramer A.M., Agrawala S., National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries. OECD Environment Working Papers 54. 2013. DOI: 10.1787/5k483jpfpsq1-en.
17. Bobylev P.M., Dygan M.M. Adaptation to climate change: a new challenge for the development of electric power industry in Russia // Energeticheskaya Politika [Energy Policy]. 2020. No. 3. Pp. 80-94.
18. Nefedova L.V. Adaptation of the energy complex to climate change in the Arctic // Energeticheskaya Politika [Energy Policy]. 2020. No. 9. Pp. 92-103.
19. Tyusov G.A., Akentieva E.M., Pavlova T.V., Shkolnik I.M. Estimates of the potential impact of future climate changes in Russia on the functioning of energy facilities // Meteorologiya i Gidrologiya [Meteorology and Hydrology]. 2017. No. 12. Pp. 47-57.
20. Plan for adaptation to climate change in the fuel and energy complex of the Russian Federation. Approved by Order of the Ministry of Energy of Russia dated March 31, 2022, No. 280.
21. Katzov V.M., Porfirev B.N. Russia's adaptation to climate change: concept of the national plan // Trudy Glavnoy Geofizicheskoy Observatorii Imeni A.I. Voeikova [Proceedings of the Main Geophysical Observatory Named After A.I. Voeikov]. 2017. No. 586. Pp. 7-20.
22. Report on the scientific and methodological bases for developing strategies for adaptation to climate change in the Russian Federation (within the competence of Roshydromet). - St. Petersburg; Saratov: Amirit, 2020. - 120 p.
23. Porfirev B.N., Makarova E.A. Economic assessment of damage from natural disasters and catastrophes // Vestnik Rossiyskoy Akademii Nauk [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. 2014. Vol. 84. No. 12. Pp. 1059–107.
24. Popov A.P., Milovanov V.I., Zhmulin V.V., Ryabov V.A., Berezhnoy M.A. On the issue of standard technical solutions for foundations and bases in the cryolithozone // Inzhenernaya Geologiya [Engineering Geology]. 2008. No. 3. Pp. 22-38.
25. Imshenetsky V.V., Orlov Y.N. LNG Technology – a promising option for developing gas resources of the Yamal Peninsula. 2005. Available at: <http://www.gasforum.ru/wp-content/uploads/2007/09/lng.pdf>.
26. Report on Climate Risks in the Territory of the Russian Federation. – St. Petersburg. 2017. – 106 p. Available at: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>.

Systematization of Key Directions and Indicators for the Adaptation of the Russian Fuel and Energy Sector to the Consequences of Climate Change

Saenko Vladimir Vasilyevich ^[0000-0002-7004-7205],
Kolpakov Andrey Yuryevich ^[0000-0003-4812-4582]

Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences,
117418, Moscow, Nakhimovsky Prospect, 47

E-mail: vv_saenko@mail.ru, kolpakov@ecfor.ru

Abstract. The article describes trends in climate change that have a significant impact on the functioning of Russia's Fuel and Energy Sector (FES). Information on the impact of climate change on FES facilities is then systematized, as well as on the vulnerability and possible adaptation measures for FES facilities to climate change. All adaptation measures are ranked according to the degree of risks they aim to mitigate. The degree of risks is qualitatively determined based on the analysis of climate change dynamics and associated hazardous meteorological events. All adaptation measures involve understandable engineering and organizational activities and can, therefore, be evolutionarily integrated into the regular management system of the fuel and energy sectors.

Keywords: FES, climate change, permafrost, hazardous phenomena, adaptation, energy security.

Acknowledgment: the article was prepared with the support of a grant in the form of subsidies from the federal budget for the implementation of scientific research and work within the framework of the implementation of the most important innovative project of state importance “Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances” (an agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies in accordance with paragraph 4 of Article 78.1 of the Budget Code of the Russian Federation dated 03/01/2023 No. 139-15-2023-003 between the Ministry of Economic Development of Russia and IEF RAS).