



Центр междисциплинарных  
исследований человеческого  
потенциала

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ЭКОНОМИКУ И ЭКОСИСТЕМЫ

Доклад НИУ ВШЭ



ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Москва, 2022

**К XXIII Ясинской  
(Апрельской)  
международной  
научной конференции  
по проблемам развития  
экономики и общества**

2022 г.

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# **ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ЭКОНОМИКУ И ЭКОСИСТЕМЫ**

*Доклад НИУ ВШЭ*



---

Издательский дом  
Высшей школы экономики  
Москва, 2022

УДК 551.583  
ББК 26.237  
В64

Доклад подготовлен в рамках гранта, предоставленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (№ соглашения о предоставлении гранта: 075-15-2020-928)

Работа проведена в рамках направления исследований «Природно-климатические детерминанты устойчивого развития» Научного центра мирового уровня «Центр междисциплинарных исследований человеческого потенциала»

Под редакцией *Л.Н. Проскуряковой*

Авторский коллектив:

*В.В. Виноградова, О.Б. Глезер, Р.Г. Грачева, А.Л. Дорина, А.Н. Золотокрылин, А.В. Котов, Н.К. Куричев, Б.А. Моргунов, В.Ю. Поташиников, А.В. Птичкинов, Л.Н. Проскурякова, Г.В. Сафонов, Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, И.П. Семилетов, А.Г. Сизонов, А.В. Стеценко, Т.Б. Титкова, Н.Е. Шахова, А.В. Шелудков*

**Воздействие изменения климата** на человеческий потенциал, экологию и экосистемы [Текст]: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. / В. В. Виноградова, О. Б. Глезер, Р. Г. Грачева и др. ; под ред. Л. Н. Проскуряковой ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. — 76 с. — ISBN 978-5-7598-2653-8 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2463-3 (e-book).

В докладе проанализированы глобальные климатические изменения и их воздействие на человеческий потенциал, экономику и окружающую среду. Представлены новейшие результаты исследований климатической роли атмосферной эмиссии метана из гидратов подводной мерзлоты в Арктике. Сценарные прогнозы низкоуглеродного развития экономики России до 2050 г. позволяют оценить потенциал сокращения выбросов парниковых газов и увеличения поглощения углерода экосистемами, эффективность мер углеродного регулирования в различных отраслях и секторах экономики. В публикации представлены оценки климатических изменений в российских регионах и рекомендации по повышению территориальной резилентности. Материалы доклада могут быть полезны органам государственного управления, институтам развития и организациям, выполняющим исследования и разработки, в качестве информационной базы для принятия решений и планирования научных проектов.

УДК 551.583  
ББК 26.237

Опубликовано Издательским домом Высшей школы экономики  
<http://id.hse.ru>

ISBN 978-5-7598-2653-8 (в обл.)  
ISBN 978-5-7598-2463-3 (e-book)

© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1. Сценарные прогнозы низкоуглеродного развития экономики России и взаимодействия социально-экономической, природной и климатической систем до 2050 г. ....	8
Международный контекст .....	8
Роль России в решении проблемы изменения климата .....	10
Сценарные прогнозы низкоуглеродного развития экономики России до 2050 г. ....	12
2. Энергетические технологии, способные обеспечить переход к низкоуглеродному развитию России, и их эффекты для здоровья и качества жизни граждан.....	19
Различные сценарии потребления энергии в России.....	21
Оценка существующих решений и технологий будущего .....	25
Выводы и рекомендации .....	27
3. Климатическая роль атмосферной эмиссии метана из гидратов подводной мерзлоты в Арктике .....	29
Выводы и рекомендации .....	38
4. Адаптация территорий к изменениям климата: факторы резилентности природопользования, локальной экономики и расселения .....	40
Уязвимость и адаптация населения России для климатических рисков .....	41
Актуальные задачи адаптации лесов России к изменениям климата.....	46
Уязвимость и адаптация к изменениям климата в аграрном секторе: пример органического сельского хозяйства.....	51

Уязвимость и адаптация регионов России к изменениям климата и глобальной климатической политике .....	54
Выводы и рекомендации .....	60
Заключение.....	62
Литература.....	67
Авторы доклада .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Глобальные климатические изменения оказывают воздействие на человеческий потенциал, экономику и экосистемы всех стран мира, включая Россию. Значительный вклад в изменение климата вносит сжигание ископаемых энергоресурсов, приводящее к повышению концентрации парниковых газов в атмосфере и вызывающее парниковый эффект. Основными последствиями являются рост среднегодовой температуры и таяние ледников, что приводит к подъему уровня мирового океана, а также сильные засухи и пожары, наводнения и цунами, сокращение биоразнообразия. Эти изменения оказывают негативное воздействие на качество жизни людей, включая доступность продовольствия, здоровье, пригодность территорий для жилья и ведения экономической деятельности, и многое другое<sup>1</sup>. Глобальные вызовы, стоящие перед мировым сообществом вследствие изменения климата, формируют комплексную повестку международного сотрудничества на несколько предстоящих десятилетий. Актуальность этой повестки будет постоянно возрастать вне зависимости от различных факторов международной напряженности.

В 2021 г. о стратегиях достижения углеродной нейтральности заявили крупнейшие экономики мира (США, Китай, Индия), а в октябре-ноябре в Глазго состоялась 26-я конференция сторон (КС-26) по климату, на которой были достигнуты новые договоренности по реализации целей Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) и Парижского климатического соглашения. Однако заявленные государствами меры по-прежнему недостаточны для предотвращения необратимых глобальных климатических изменений, необходимы дополнительные согласованные действия правительств, бизнеса, ученых и гражданского общества<sup>2</sup>. Кроме того, существенные усилия должны быть приложены для адаптации к тем последствиям изменения климата, которых

---

<sup>1</sup> ООН. Что такое изменение климата? URL: [un.org/ru/climatechange/what-is-climate-change](https://un.org/ru/climatechange/what-is-climate-change) (дата обращения 14.03.2022).

<sup>2</sup> IPCC. Climate Change 2021. The physical science basis. Summary for policymakers. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf) (дата обращения 21.03.2022); OECD. The annual climate action

невозможно избежать при любых сценариях, поддержки наименее развитых стран в адаптации и повышении устойчивости (резилентности) к негативным последствиям изменения климата.

Проявления изменения климата оказывают серьезное негативное воздействие на человеческий капитал и экономическое развитие России. Среди наиболее значимых климатических рисков на севере страны наиболее остро стоит проблема таяния вечной мерзлоты, что несет в себе опасность разрушения расположенной на ней инфраструктуры. На юге население сталкивается с водным стрессом: нехватка пресной воды оказывает негативное влияние на сельское хозяйство, которое важно для экономики регионов, а также усугубляет проблему доступа населения к чистой питьевой воде. Европейская часть страны подвержена рискам учащения волн тепла<sup>3</sup>, из-за которых в жаркие сезоны растут показатели смертности, особенно среди пожилых людей, лиц с хроническими заболеваниями, детей младшего возраста и социально изолированных лиц<sup>4</sup>. В Сибири обостряется проблема лесных пожаров, что не только является причиной сокращения лесного покрова и разрушения инфраструктуры, но и создает угрозу жизни человека. Сокращение выбросов парниковых газов позволит смягчить часть из этих негативных эффектов. 25 декабря 2019 г. Правительством РФ был утвержден Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года<sup>5</sup>. А 29 октября 2021 г. Правительство России утвердило Стратегию социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года<sup>6</sup>, предусматривающую масштабное сокращение эмиссии двуоксида углерода и достижение углеродной нейтральности не позднее 2060 г.

---

monitor. URL: <https://www.oecd.org/climate-action/ipac/climate-action/ipac/the-annual-climate-action-monitor-5bcb405c/> (дата обращения 21.03.2022).

<sup>3</sup> Природное явление, характеризующееся значительным потеплением, распространяющимся в определенном направлении, связанным с горизонтальным перемещением теплой воздушной массы.

<sup>4</sup> *Smith K. et al.* Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits // *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge University Press, 2014. P. 709–754.

<sup>5</sup> Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 № 3183-р.

<sup>6</sup> Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р.

Исследование климатических изменений и возможностей адаптации и снижения антропогенного воздействия на климатическую систему требует междисциплинарных подходов и решений. Поэтому в докладе представлены результаты изысканий нескольких исследовательских коллективов, применяющих различные методы социально-экономических и естественных наук. В первом разделе представлены долгосрочные траектории развития различных отраслей экономики России до 2050 г. Полученные оценки показывают, что основной потенциал снижения антропогенных выбросов парниковых газов может быть достигнут за счет масштабных преобразований в секторах производства и потребления энергии как главных источниках выбросов. Соответственно, во втором разделе проанализированы перспективы применения в России новых энергетических технологий для снижения антропогенного воздействия на климат. Важно подчеркнуть, что при формировании климатических сценариев и стратегий энергетического развития часто остаются неучтенными природные (неантропогенные) источники углекислого газа и метана. В третьем разделе выявлены и оценены риски масштабной природной эмиссии метана в российской Арктике. Для снижения климатических рисков требуется мобилизация всех имеющихся возможностей, поэтому в четвертом разделе проанализированы перспективы регионов и муниципалитетов России в адаптации к неизбежным последствиям изменения климата.

В докладе рассмотрены следующие ключевые вопросы.

- Каковы долгосрочные траектории низкоуглеродного развития экономики России и ее ключевых отраслей?
- Какие энергетические технологии способны обеспечить переход к низкоуглеродному развитию и при этом обеспечат снижение негативных эффектов для здоровья и качества жизни граждан?
- Какова климатическая роль атмосферной эмиссии метана из гидратов подводной мерзлоты? Какие факторы оказывают влияние на несбалансированность цикла углерода в Арктике?
- Каковы природные и социально-экономические факторы резилиентности территорий России в условиях изменения климата?

В заключении представлены предложения по мерам политики, которые будут способствовать снижению воздействия на окружающую среду и климат в России.

# 1. СЦЕНАРНЫЕ ПРОГНОЗЫ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ, ПРИРОДНОЙ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМ ДО 2050 г.

*Г.В. Сафонов, А.В. Стеценко, В.Ю. Поташиников, А.Л. Дорина,  
Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, А.Г. Сизонов*

## Международный контекст

Глобальное изменение климата является одним из важнейших экологических вызовов человечества. Развитие мировой экономики без учета климатических рисков, наращивание антропогенного воздействия на климатическую систему за счет выбросов парниковых газов и сокращения углерод-депонирующего потенциала лесов и в секторе землепользования грозит беспрецедентным ущербом от разрушения инфраструктуры, воздействия на здоровье населения, недостатка водных ресурсов, обострения проблемы продовольственной безопасности и другими катастрофическими последствиями<sup>1</sup>. Ущерб в случае «развития как обычно», без активных мер по предотвращению глобального потепления оценивается в 5–20% мирового ВВП ежегодно в текущем столетии<sup>2</sup>.

Ключевым направлением международных усилий по борьбе с глобальным потеплением является сокращение выбросов углекислого газа и других парниковых газов в атмосферу. Для выполнения целей Парижского климатического соглашения ООН, принятого в 2015 г., необходимо радикальное и быстрое снижение выбросов (часто называемое «глубокой декарбонизацией») и достижение углеродной нейтральности мировой экономики, жела-

---

<sup>1</sup> IPCC. Sixth Assessment Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>2</sup> Stern N. et al. The Economics of Climate Change // The Stern Review. London: LSE. 30 October, 2006.

тельно, к середине XXI в., что может обеспечить удержание роста температура на уровне 1,5–2 °С<sup>3</sup>. Однако текущие предложения сторон Парижского соглашения по долгосрочным целям снижения выбросов парниковых газов не ведут к достижению необходимых уровней декарбонизации мировой экономики, разрыв между этими показателями достигает десятков миллиардов тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента<sup>4</sup>.

Сценарии глубокой декарбонизации крупнейших экономик мира анализируются начиная с 2013 г., когда по инициативе бывшего генерального секретаря ООН Пан Ги Муна был начат международный научный проект Deep Decarbonization Pathways Project. Разработанные для 16 ведущих стран сценарии декарбонизации стали основой для дальнейшей подготовки национальных стратегий достижения углеродной нейтральности. Полученные результаты были также использованы при подготовке ряда положений Парижского соглашения<sup>5</sup>. Дальнейшие исследования потенциала глубокой декарбонизации различных стран мира продолжились в рамках крупных международных научных проектов, таких как CD-LINKS, ENGAGE, COMMIT и ряд других. Результаты этих исследований опубликованы в ведущих научных журналах мира<sup>6</sup>. Исследования в области оценки потенциала России для глубокой декарбонизации экономики проводились в ряде научных проектов, в том числе в рамках проекта

---

<sup>3</sup> IPCC. Special report: Global warming of 1.5 °C. 2018. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>4</sup> UNEP. The Emissions Gap Report 2021. URL: <https://www.unep.org/ru/re-sources/emissions-gap-report-2021> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>5</sup> IDDRI. Deep decarbonization pathways, 2014 Report. URL: <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/184548/pathways-deep-decarbonization-2014-report.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>6</sup> *Pahle M. et al.* The crucial role of complementarity, transparency and adaptability for designing energy policies for sustainable development // *Energy Policy*. 2021. Vol. 159. URL: [https://www.researchgate.net/publication/355203880\\_The\\_crucial\\_role\\_of\\_complementarity\\_transparency\\_and\\_adaptability\\_for\\_designing\\_energy\\_policies\\_for\\_sustainable\\_development](https://www.researchgate.net/publication/355203880_The_crucial_role_of_complementarity_transparency_and_adaptability_for_designing_energy_policies_for_sustainable_development) (дата обращения 23.03.2022); *Schaef-fer R. et al.* Comparing transformation pathways across major economies // *Climatic Change*. Nr. 162 (4). October 2020. P. 1787–1803. URL: [https://www.researchgate.net/publication/343835767\\_Comparing\\_transformation\\_pathways\\_across\\_major\\_economies](https://www.researchgate.net/publication/343835767_Comparing_transformation_pathways_across_major_economies) (дата обращения 23.03.2022).

DDPP<sup>7</sup>, исследования Центра энергоэффективности<sup>8</sup>, проекта CD-LINKS<sup>9</sup>.

### **Роль России в решении проблемы изменения климата**

Россия является крупнейшим в мире по площади государством и играет важную роль в глобальном климате: территория лесов составляет 871 млн га (20% мировых лесов), сельскохозяйственные угодья занимают 221 млн га (10% пахотных земель в мире), а запасы ископаемого топлива превышают 350 млрд тонн в нефтяном эквиваленте (тнэ).

Россия входит в число ведущих мировых источников выбросов парниковых газов (ПГ) и занимает четвертое в мире место с объемом годовых выбросов 1585 Мт CO<sub>2</sub>-экв. на 2019 г. Нетто-выбросы ПГ в России достигли пика в 1990 г., составив 3896 Мт CO<sub>2</sub>-экв., или 17% от суммарных выбросов стран — участников Приложения I Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК)<sup>10</sup>.

За 1990–2000 годы объем выбросов ПГ снизился на 54% вследствие глубокого экономического кризиса, спада промышленного производства, демилитаризации и реструктуризация российской экономики, расширения сектора услуг (с 20 до более чем 50% ВВП), увеличения углерод-депонирующей способности лесов,

---

<sup>7</sup> *Waisman H. et al.* A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies // *Nature Climate Change*. 2019. Nr. 9 (4). March. 261–268. URL: [https://www.researchgate.net/publication/332000945\\_A\\_pathway\\_design\\_framework\\_for\\_national\\_low\\_greenhouse\\_gas\\_emission\\_development\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/332000945_A_pathway_design_framework_for_national_low_greenhouse_gas_emission_development_strategies) (дата обращения 23.03.2022).

<sup>8</sup> *Баймаков И.А.* Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // *Вопросы экономики*. 2020. № 7. С. 51–74; *Баймаков И.А., Мышак А.Д.* Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. М.: ЦЭНЭФ, 2009. URL: <http://www.cenef.ru/file/2050.14.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>9</sup> *Safonov G. et al.* The low carbon development options for Russia // *Climatic Change*. 2020. Nr. 162 (20). October. URL: [https://www.researchgate.net/publication/343143962\\_The\\_low\\_carbon\\_development\\_options\\_for\\_Russia](https://www.researchgate.net/publication/343143962_The_low_carbon_development_options_for_Russia) (дата обращения 23.03.2022).

<sup>10</sup> The national GHG inventory submission to the UNFCCC by the Russian Federation. URL: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021> (дата обращения 23.03.2022).

вызванного сокращением лесозаготовок. Восстановление экономики в 2000-х годах во многом было обусловлено увеличением доходов от экспорта ископаемых видов топлива, металлов, продукции химической промышленности. В период беспрецедентного промышленного роста 2000-х годов (свыше 7% в год) и в последовавший за ним период национальные выбросы ПГ увеличивались в среднем на 1% в год и к 2019 г. достигли 51% от уровня 1990 г. За период с 1990 по 2019 г. структура выбросов ПГ в России существенно изменилась: эмиссия метана снизилась на 22%, выбросы от сжигания топлива снизились на 37%, от промышленных процессов — на 16%, от сельского хозяйства — на 54%, от других отраслей — на 9%, а поглощающая способность лесов увеличилась в 2,8 раза. Несмотря на быстрый рост общего объема ПГ в мире, Россия по-прежнему входит в число ведущих источников выбросов ПГ вместе с Китаем, США, Европейским союзом (27), Индией и Японией<sup>11</sup>.

В июне 2021 г. президент России В.В. Путин объявил об корректировке национальных целей по сокращению выбросов ПГ к 2050 г.: совокупные выбросы в 2021–2050 гг. не должны превышать выбросы ЕС за тот же период, а затем была объявлена новая цель — достижение углеродной нейтральности экономики России не позднее 2060 г.<sup>12</sup> В 2021 г. Минэкономразвития России была разработана Стратегия экономического развития с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 года, которая затем была утверждена Правительством РФ. В данной стратегии предложены два основных сценария развития — инерционный и интенсивный<sup>13</sup>. В последнем предполагается, что нетто-выбросы ПГ могут быть снижены более чем на 80% к 2050 г. по сравнению с текущим уровнем. В то же время энергетическая стратегия России до 2035 г. предполагает значительное увеличение добычи, сжигания и экспорта ископае-

---

<sup>11</sup> World Energy Outlook 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/phasing-out-coal> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>12</sup> Россия будет добиваться углеродной нейтральности к 2060 г. // ООН [Электронный ресурс]. 2021, 14 октября. URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1411842> (дата обращения 5.3.2022).

<sup>13</sup> Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtlpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

мых энергоресурсов, при этом выбросы ПГ должны существенно возрасти<sup>14</sup>.

Макроэкономические и отраслевые исследования показывают, что в России есть огромный потенциал сокращения выбросов ПГ при низких и даже отрицательных затратах. Компания McKinsey проанализировала 60 мер в различных секторах, которые могут помочь снизить потребление энергии на 23% и выбросы ПГ на 19% к 2030 году по сравнению со сценарием «развитие как обычно», а инвестиции в размере 0,8% ВВП в год к 2050 г. могут позволить России повысить энергоэффективность и перейти на низкоуглеродную траекторию развития<sup>15</sup>.

### Сценарные прогнозы низкоуглеродного развития экономики России до 2050 г.

Для анализа ключевых секторов российской экономики, на которые приходится около 80% общих выбросов CO<sub>2</sub>, была использована модель TIMES-RUSSIA<sup>16</sup> (в том числе в отраслях производства электроэнергии и тепла, металлургии, цементной, химической и нефтехимической промышленности, эксплуатации жилых зданий и коммерческой недвижимости, транспорта). Модель охватывает все элементы функционирования энергетической системы от добычи ресурсов, транспортировки и преобразования энергии до конечного потребления энергии. Модель оптимизирует траектории достижения поставленных на будущие периоды целей, например, по выбросам парниковых газов до 2050 г. (*backcasting*) и

---

<sup>14</sup> Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4lgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>15</sup> Energy efficiency in Russia: Untapped reserves // World Bank Group [Электронный ресурс]. 2014. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20675> (дата обращения 23.03.2022); Pathways to an energy and carbon efficient Russia. McKinsey & Company, 2009. URL: [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client\\_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/CO2\\_Russia\\_ENG\\_final.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/CO2_Russia_ENG_final.ashx) (дата обращения 05.03.2022).

<sup>16</sup> Изначально модель была разработана в рамках программы ETSAP Международного энергетического агентства, затем адаптирована для российской экономики научной группой РАНХиГС и НИУ ВШЭ.

рассчитывает оптимальное производство и потребление энергии по секторам и периодам времени.

Предпосылки для сценариев были сформированы на основе действующих национальных стратегий и программ социально-экономического развития, планов крупных корпораций и отраслевых прогнозов. Также в модели используются экспертные предположения и международные прогнозы на период после 2035 г.<sup>17</sup>

В рамках исследования проведено моделирование следующих сценариев.

Сценарий 1. Развитие как обычно («BAU»): предполагается продолжение развития без существенных изменений и целенаправленной политики по декарбонизации экономики. Цель по снижению объемов выбросов парниковых газов, установленная на 2030 г. в 30% ниже уровня 1990 г. в рамках Национального вклада (NDC) в выполнении Парижского соглашения<sup>18</sup>, продолжает распространяться и на период до 2050 г.

Сценарий 2. Усиление NDC («NDC+»): в дополнение к цели NDC до 2030 г. принимаются новые цели по сокращению выбросов парниковых газов, направленные на их сокращение на 75% от уровня 1990 г. к 2050 г. за счет использования потенциала возобновляемых источников энергии (ВИЭ), производства биотоплива, масштабного повышения энергоэффективности, электрификации конечного потребления энергии и других мер декарбонизации.

Сценарий 3. Глубокая декарбонизация («DD»): достижение очень амбициозной цели по снижению объема выбросов парниковых газов на 88% ниже уровня 1990 г. к 2050 г., позволяющей реализовать вклад России в достижение цели Парижского соглашения по предотвращению роста температуры более 1,5 °С. Сценарий предполагает активные и быстрые действия по снижению выбросов, особенно после 2030 г., за счет замены устаревшего обо-

---

<sup>17</sup> Energy Technology Perspectives 2020 // IEA [Электронный ресурс]. September 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020> (дата обращения 23.03.2022).

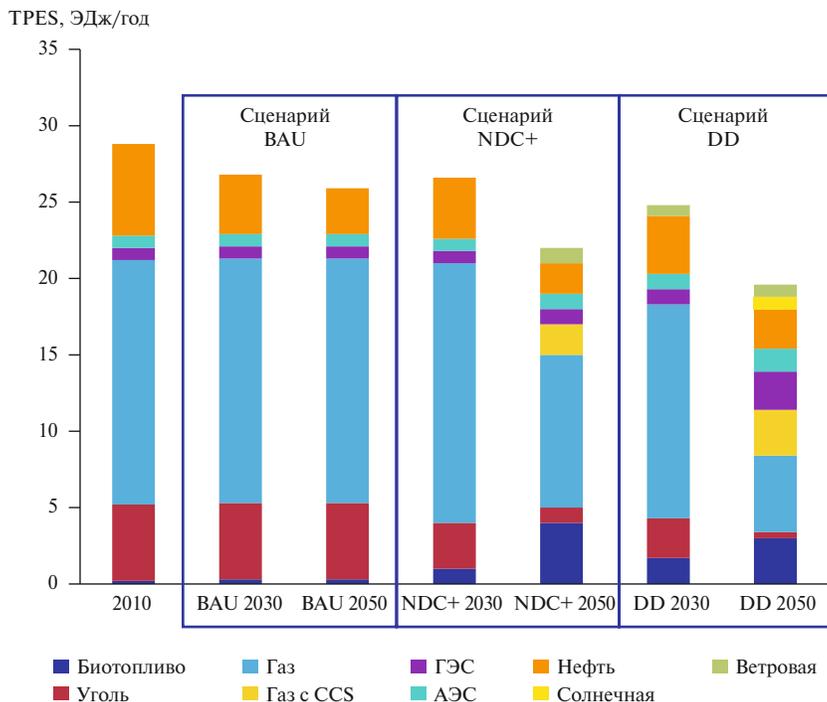
<sup>18</sup> The Nationally Determined Contribution of the Russian Federation under the UNFCCC Paris Agreement. 2020. URL: [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Russian%20Federation%20First/NDC\\_RF\\_eng.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Russian%20Federation%20First/NDC_RF_eng.pdf) (дата обращения 05.03.2022).

рудования и технологий на более эффективные и безуглеродные во всех секторах экономики, переход с угля и газа на зеленые источники энергии (биотопливо, ВИЭ, технологии улавливания и захоронения углерода (CCS) и др.), масштабное повышение энергоэффективности.

Основные предположения для сценариев на перспективу до 2050 г. включают следующее.

- Социально-экономические и технологические изменения (доступность различных технологий, стоимость производства энергии и др.) происходят в соответствии с прогнозами Минэкономразвития России, Международного энергетического агентства (МЭА), Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР).
- Мировые цены на ископаемые виды энергоресурсов и спрос на российский экспорт энергоносителей задаются в модели экзогенно на основе международных прогнозов.
- Внешние факторы включают снижение себестоимости производства в солнечной и ветровой энергетике, развитие технологий экологичного транспорта, растущий спрос на биотопливо, глобальное снижение объемов производства и потребления угля.
- Международные механизмы ценообразования на углерод влияют на спрос на ископаемое топливо, стоимость технологий, процессы дивестиций из карбоноёмких производств и роста инвестиций в зеленые технологии продолжают развиваться, доступ к капиталу для безуглеродных и экологичных проектов увеличивается (Сценарии 2 и 3).
- Экспорт угля и нефти (в натуральном выражении) из России остается на текущем уровне до 2050 г. в Сценариях 1 и 2, в то же время экспорт природного газа постепенно возрастает на 50%. В Сценарии 3 экспорт угля сокращается до нуля, нефти — на 75%, а объем экспорта газа растет на 25% к 2050 г.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что выбросы углерода из всех источников могут существенно снизиться к 2030 и 2050 гг., прежде всего за счет более широкого использования низкоуглеродных технологий в производстве энергии, особенно в области биоэнергетики, технологий улавливания и захоронения углерода (CCS) и возобновляемых источников энергии. Во всех сценариях поставки газа, нефти и угля будут играть ведущую



**Рис. 1.** Сценарные прогнозы выработки первичной энергии (TPES) в России до 2030 и 2050 гг., ЭДж/год

*Источник:* Расчеты авторов.

роль во внутреннем энергобалансе до 2030 г., однако их роль в более долгосрочной перспективе (в 2030–2050 гг.) будет существенно меняться (рис. 1).

Согласно Сценарию 3, за счет радикальной трансформации энергетики к 2050 г. произойдет сокращение производства природного газа примерно в 2 раза (40% будет использоваться с CCS), сокращение производства угля на 70% (от уровня 2010 г.), увеличение выработки солнечной и ветровой энергии и использования биотоплива. Во всех других сценариях природный газ остается предпочтительным источником энергии из-за конкурентного преимущества по сравнению с другими ископаемыми видами топли-

ва, дорогостоящими технологиями CCS и недостаточными стимулами для развития возобновляемых источников энергии.

Сценарии глубокой декарбонизации для России показывают, что выбросы ПГ можно сократить к 2050 г. на 87% по сравнению с 2010 г. Дополнительные ежегодные издержки на декарбонизацию энергетики страны оцениваются в 12 млрд долл. США к 2030 г. и 42 млрд долл. США к 2050 г.<sup>19</sup>

Сценарий глубокой декарбонизации позволяет выполнить обязательство России по достижению цели Парижского соглашения по предотвращению роста температуры на 1,5 °С. Столь амбициозное сокращение выбросов ПГ может быть достигнуто, если к 2050 г. общая выработка первичной энергии сократится на 27% при значительных изменениях в структуре производства и потребления энергии в пользу безуглеродных технологий и источников энергии. Важными направлениями развития зеленой энергетики в России могут стать производство биотоплива второго и третьего поколений, зеленого водорода<sup>20</sup>, спрос на которые в мире имеет большую перспективу. Потенциал России в этих нишах растущего мирового рынка «устойчивой энергетики» огромен, а в качестве энергетической основы развития могут быть задействованы крупнейшие в мире ресурсы возобновляемых источников энергии<sup>21</sup>.

Значительную роль в переходе к низкоуглеродной модели экономики могут сыграть лесное хозяйство и сектор землепользования. Существует большой потенциал увеличения углерод-депонирующей способности лесных экосистем и перехода к низкоуглеродным технологиям в сельском хозяйстве. Однако климатические изменения, интенсивные вырубki и недостаточно эффективные практики лесопользования крайне негативно сказываются на потенциале поглощения CO<sub>2</sub> в лесном хозяйстве страны: по данным Национального кадастра парниковых газов, за

---

<sup>19</sup> *Safonov G. et al.* The low carbon development options for Russia...

<sup>20</sup> План мероприятий по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года // Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/19194> (дата обращения 26.11.2021).

<sup>21</sup> *Безруких П.П. и др.* Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). М.: ИАЦ Энергия, 2007. С. 272.

период 2009–2019 гг. нетто-поглощение углерода лесами сократилось с 750 до около 600 млн т  $\text{CO}_2$  в год<sup>22</sup>. Очевидно, что риски лесных пожаров, распространения болезней и вредителей будут возрастать по мере дальнейшего роста среднегодовой температуры. Поэтому необходимы широкомасштабные меры по снижению горимости и иных негативных воздействий на лесные экосистемы, задействованию потенциала природо-ориентированных решений для увеличения поглощения углерода и сокращения эмиссий парниковых газов в секторах землепользования и лесного хозяйства.

Климатическая политика России должна предусматривать реализацию комплекса мер по сокращению выбросов парниковых газов по приоритетным направлениям, включая повышение энергоэффективности, развитие безуглеродной энергетики (возобновляемые источники энергии, использование технологий улавливания и захоронения углерода), радикальное снижение эмиссий метана в нефтегазовой и угольной промышленности, переход на безуглеродные виды транспорта (использующие биотопливо, водород, электроэнергию, а также на экологически чистый общественный транспорт), модернизацию и внедрение современных технологий в металлургии, химической, цементной промышленности, совершенствование методов ведения лесного и сельского хозяйства, внедрение в них климатоло-ориентированных технологий и практик, позволяющих предотвращать потери углерода в лесной биомассе и почвах, обеспечивать дополнительное депонирование углерода экосистемами. Эти меры позволят снизить углеродный след в ключевых отраслях, в том числе экспортно ориентированных, которые сталкиваются со все более жестким международным углеродным регулированием и ценообразованием на углерод. Например, трансграничный механизм углеродного регулирования ЕС предусматривает введение платы за углеродный след импортируемой продукции, включая металлы, химические удобрения, аммиак, цемент, электроэнергию

---

<sup>22</sup> Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом // Росгидромет [Электронный ресурс]. 2021. URL: <http://global-climate-change.ru/index.php/ru/oficial-documents/kadastr-report> (дата обращения 23.03.2022).

и др., уже в 2023–2025 гг. Суммарный углеродный след российского экспорта превышает 2 млрд т CO<sub>2</sub> (на 2021 г.), при этом большая часть экспорта осуществляется в страны, где существует или планируется жесткое регулирование выбросов углерода, а также действуют инициативы по ценообразованию на углерод (например, ЕС, США, Канада, Япония, Китай, Южная Корея). Задачи декарбонизации экономики и экспортных отраслей в этой связи представляются для России крайне актуальными.

## **2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СПОСОБНЫЕ ОБЕСПЕЧИТЬ ПЕРЕХОД К НИЗКОУГЛЕРОДНОМУ РАЗВИТИЮ РОССИИ, И ИХ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ГРАЖДАН**

*Л.Н. Проскурякова*

На протяжении последних двух десятилетий в разных странах и регионах мира происходит энергетический переход — от ископаемых энергоресурсов к возобновляемым и чистым источникам энергии, от расточительного потребления природных ресурсов к экономике замкнутого цикла и ресурсоэффективности. Эта четвертая в истории трансформация обусловлена приоритетом устойчивого развития и зеленого роста, а также достижением целей международных климатических соглашений. Крупнейшие экономики мира (ЕС, Японии, Канады, США и др.) уделяют пристальное внимание поддержке исследований и разработок в области ВИЭ. Развитие последних уже привело к созданию многомиллиардного рынка оборудования. Крупные энергетические компании (в том числе нефтегазовые компании, такие как Equinor, Shell, Petrobras и др.) поддерживают исследования и разработки ВИЭ и присутствуют в этом сегменте.

Если в начале 2000-х годов структурные изменения в мировой энергетике были еще не так заметны, в 2020 г. ВИЭ уже обеспечили около 90% глобального прироста всех генерирующих мощностей. Согласно прогнозам, сделанным международными организациями и компаниями (Международное энергетическое агентство, Международный газовый союз, компании ExxonMobil, Shell, Ассоциация стран-экспортеров нефти и др.), доля ВИЭ в мировой структуре энергопотребления на 2030 г. составит от 14 до 23%. К 2040 г. мировой спрос на все энергоресурсы продолжит расти, однако на новые ВИЭ рост спроса окажется существенно выше (до 8,9%), чем на нефть (от 0,5%)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> *Proskuryakova L., Ermolenko G.* The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies // Renewable Energy. 2019. Vol. 143. P. 1670–1686.

**Таблица 1.** Полная приведенная стоимость различных технологий генерации энергии (долл. США)

Группа	Технология	Минимум	Максимум
Возобновляемые	Крышные фотоэлектрические солнечные панели для домохозяйств	147	221
	Крышные фотоэлектрические солнечные панели коммерческие и промышленные	67	180
	Крышные фотоэлектрические солнечные панели для района / населенного пункта	59	91
	Фотоэлектрические кристаллические модули промышленного масштаба	30	41
	Фотоэлектрические тонкопленочные модули промышленного масштаба	28	37
	Гелиотермоэлектрический модуль с системой хранения энергии	126	156
	Геотермальная станция	56	93
	Ветроэлектрическая установка	26	50
Невозобновляемые	Пиковые электростанции на природном газе	151	196
	Атомные электростанции	65	152
	Электростанции с комбинированным циклом на природном газе	45	74

*Источник:* Levelized Cost of Energy // Lazard [Электронный ресурс]. Окт. 28, 2021. URL: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/> (дата обращения 23.03.2022).

Опережающий рост установленной мощности ВИЭ-электростанций происходит по причине повышения технологической эффективности солнечной и ветровой генерации при одновременном падении капитальных затрат, что уже позволило достичь сетевого паритета, то есть конкурентоспособности по сравнению с тради-

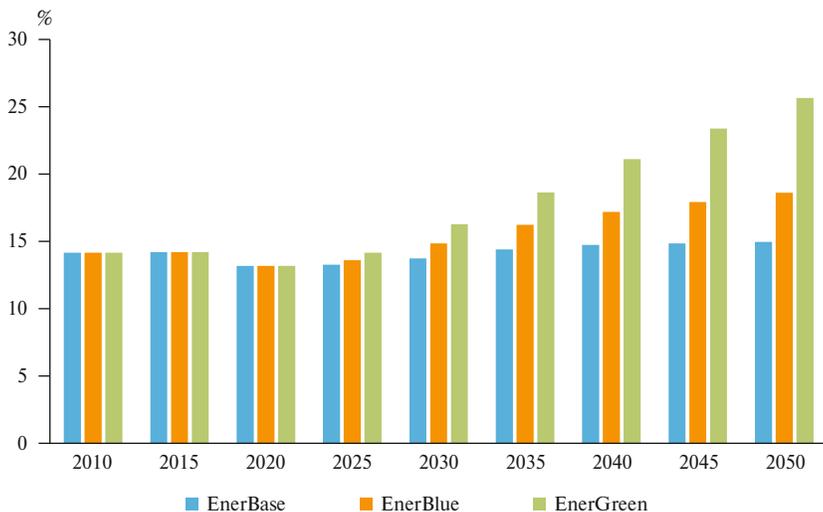
ционными тепловыми электростанциями (ТЭС) (табл. 1). Стоимость систем хранения энергии, позволяющих компенсировать непостоянный характер выработки, также продолжает снижаться. Среди барьеров развития ВИЭ можно отметить зависимость от предшествующего развития, ориентированную на традиционную генерацию и энергетическую инфраструктуру и необходимость окупить вложения в работающие тепловые электростанции, льготы и дотации на разведку и добычу углеводородов, а также отсутствие доступа развивающихся стран к новым технологиям чистой энергетики.

Помимо указанных экономических преимуществ технологий чистой энергетики, важно отметить положительные социальные и экологические эффекты, которые сказываются на качестве жизни граждан. Речь идет о снижении заболеваемости и смертности благодаря снижению загрязнения воздуха; о повышении рекреационного потенциала и улучшении экосистемных услуг, получаемых из окружающей среды; а также об изменении занятости по отраслям и сегментам топливно-энергетического комплекса (ТЭК). По данным последних независимых исследований и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно от респираторных, онкологических и сердечно-сосудистых болезней, вызванных загрязнением воздуха, умирает больше людей, чем от курения табака: 5–9 млн человек в год в мире. Россия входит в топ-10 стран по этому показателю с около 100 тыс. человек в год (по консервативным оценкам). Согласно докладу Института измерения и оценки здоровья (Institute for Health Metrics and Evaluation), в 2017 г. 92% населения России проживало на территориях, где загрязнение воздуха превышало нормативы ВОЗ.

В данном разделе представлены первые результаты исследования, которое позволило выявить энергетические технологии, способные обеспечить не только переход России к низкоуглеродному развитию, но и снижение негативных эффектов для здоровья и качества жизни граждан.

## **Различные сценарии потребления энергии в России**

Потребление энергоресурсов в России по видам топлива и отраслям будет зависеть от выбранной траектории развития. Решающую роль в выборе направления играет энергетическая политика

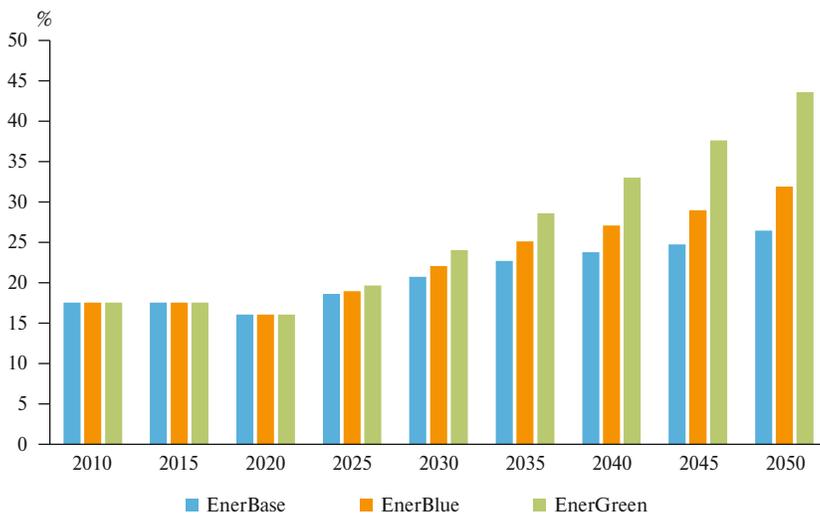


**Рис. 2.** Доля электроэнергии в совокупном конечном потреблении в РФ по сценариям, %

*Источник:* По данным EnerFuture, 2021. Global Energy Forecasts: EnerFuture // Enerdata [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enerdata.net/research/forecast-enerfuture.html> (дата обращения 04.02.2022).

и приоритеты государства. Большое влияние оказывают крупные организации ТЭК, обеспечивающие генерацию, передачу и распределение энергии. Все более значимую роль играют потребители, многие из которых уже стали просьюмерами. Так, более 6% электроэнергии в России вырабатывается компаниями-потребителями, и эта доля постоянно растет. Кроме того, перестройка отрасли была бы невозможна без учета мнения граждан о новых энергетических технологиях и желания их использовать; наличия квалифицированных специалистов, которые могли бы заполнить новые рабочие места в возникающих сегментах ТЭК; готовности сотрудников закрывающихся предприятий (например, угольных шахт) получить новое образование, пройти переподготовку или переехать.

Прогнозирование спроса на энергоресурсы с использованием глобальной модели частичного равновесия POLES для



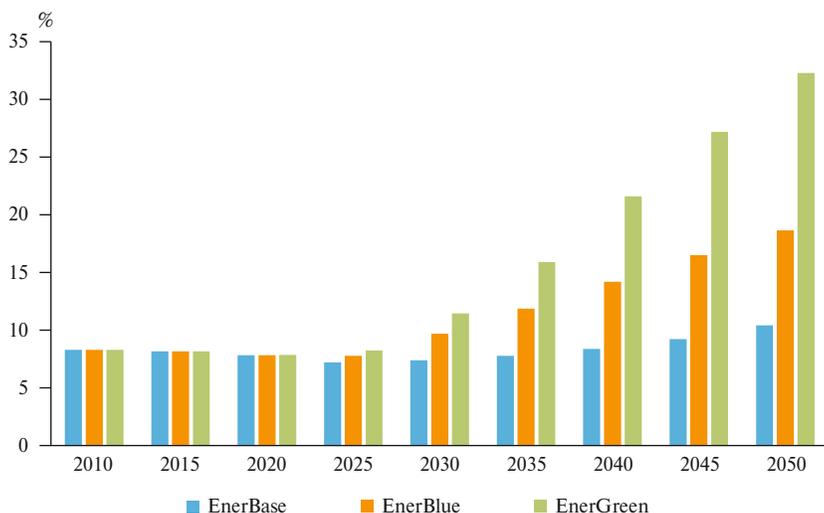
**Рис. 3.** Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии сферы услуг, ЖКХ и сельского хозяйства в РФ по сценариям, %

Источник: По данным EnerFuture, 2021. Ibid.

ТЭК<sup>2</sup> позволяет говорить о вероятном росте спроса на энергоресурсы в России в следующие 30 лет. Пока этот рост напрямую коррелирует с ростом экономики, как и во многих странах с переходной и развивающейся экономикой<sup>3</sup>. Однако для осуществления перехода к зеленому росту, достижения целей Парижского соглашения, национальных экологических целей и целевых показателей энерго- и ресурсоэффективности, эту связь необходимо будет разорвать. В сценарии устойчивого развития (EnerGreen) прогнозируется существенное снижение потребления всех видов ископаемых энергоресурсов и рост потребления прочих энергоресурсов (ВИЭ, биотоплива, водорода) и электроэнергии (рис. 2). Базовый

<sup>2</sup> EU Science Hub. POLES // European Commission [Электронный ресурс]. URL: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/poles\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/poles_en) (дата обращения 25.01.2022).

<sup>3</sup> Bianco V., Proskuryakova L., Starodubtseva A. Energy inequality in the Eurasian Economic Union // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 146. Art. 111155.



**Рис. 4.** Доля электроэнергии в конечном потреблении энергии транспортом в РФ по сценариям, %

*Источник:* По данным EnerFuture, 2021. Global Energy Forecasts: EnerFuture // Enerdata. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enerdata.net/research/forecast-enerfuture.html> (дата обращения 04.02.2022).

сценарий, предполагающий сохранение текущих мер политики (EnerBase), не позволит достичь запланированных национальных целей и выполнить международные климатические обязательства. В данном сценарии цена на углеводороды будет продолжать уверенно расти. Промежуточный сценарий (EnerBlue) предполагает выполнение национальных климатических целей, а цена на ископаемые энергоресурсы покажет незначительный рост. При этом умеренный рост энергопотребления компенсируется снижением энергоемкости экономики<sup>4</sup>. Также можно принять во внимание вероятность реализации долгосрочного негативного сценария для российской энергетики, в котором негативные эффекты пандемии накладываются и усиливаются вследствие реализации новых

<sup>4</sup> Proskuryakova L., Ermolenko G. Decarbonization Prospects in the Commonwealth of Independent States // Energies. 2022. Nr. 15 (6). Art. 1987.

непредвиденных и негативных для нашей страны событий (сценарий «One more wild card»)<sup>5</sup>.

Основной рост потребления электроэнергии во всех сценариях приходится на сферу услуг, ЖКХ, сельское хозяйство и транспорт (рис. 3 и 4), которые станут основным источником спроса на новые энергетические технологии. В промышленности рост будет не таким значимым.

### **Оценка существующих решений и технологий будущего**

Помимо мер государственной политики, важнейшее значение для перехода к ресурсоэффективности и устойчивому развитию будет играть наличие или возможность получения новых чистых энергетических технологий. Некоторые технологии чистой энергетики в нашей стране уже нашли широкое применение или находятся в стадии исследований и разработок. Оценки готовности различных технологий, сделанные Международным энергетическим агентством, представлены в табл. 2.

В России и в мире также высок уровень готовности технологий увеличения нефтеотдачи методом закачки углекислого газа в пласт, технологии гидроаккумулирования электрической энергии, использования гидро- и геотермальной энергии, энергосберегающего освещения. Технологии, которые уже распространены на мировых рынках (с уровнем готовности 10–11), но пока не в России, включают энергоэффективные решения для переработки меди и медесодержащего сырья, улавливания углерода при производстве аммиака, котлов с псевдосжиженным слоем для сжигания биомассы (для производства тепловой энергии), литий-ионных батарей для различных видов транспорта, использования аммиака и водорода в качестве топлива на транспорте, систем хранения горячей воды для домохозяйств, строительных технологий, позволяющих снизить энергопотребление зданий.

На высоком уровне готовности в мире находятся технологии переработки аккумуляторов в промышленности, системы транспортировки и хранения углекислого газа, технологии повышения

---

<sup>5</sup> Proskuryakova L., Kzyngasheva E., Starodubtseva A. Russian electric power industry under pressure: Post-COVID scenarios and policy implications // Smart Energy. 2021. Vol. 3. Art. 100025.

**Таблица 2.** Уровень готовности некоторых энергетических технологий в России (по шкале от 1 до 11)

Уровень готовности	Сектор	Технология	Этап цепочки создания стоимости	Роль в достижении углеродной нейтральности
10–11	Переработка энергоресурсов > Электронергия	Генерация > Атомная энергия > Водородная ядерный реактор большой мощности	Генерация	Высокая
11	Переработка энергоресурсов > Электроэнергия	Генерация > Гидроэнергетика	Генерация	Высокая
8–9	Переработка энергоресурсов > Электроэнергия	Генерация > Приливная энергия > Использование амплитуды прилива	Генерация	Высокая
6–9	Переработка энергоресурсов > Электроэнергия	Генерация > Атомная энергия > Водородные малые модульные реакторы	Генерация	Умеренная
8–9	Переработка энергоресурсов > Электроэнергия	Генерация > Атомная энергия > Быстрый ядерный реактор с натриевым теплоносителем	Генерация	Умеренная
7	Промышленность > Производство алюминия	Производства > Выплавка металла > Технология инертного анода	Производство	Очень высокая
4	Строительство > Отопление и кондиционирование	Генерация > Стационарные системы охлаждения оборудования > Электрокалорические материалы	Генерация	Умеренная
1–3	Переработка энергоресурсов > Электроэнергия	Генерация > Атомная энергия > Термоядерная энергия (ядерный синтез)	Генерация	Умеренная

Источник: IEA, 2021. Clean Energy Technology Guide // IEA [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide> (дата обращения 21.03.2022).

энергоэффективности и использования альтернативного топлива (биогаза) для водного транспорта, технологии подземного хранения водорода, технологии использования солнечной энергии для производства электроэнергии и тепла, в том числе для централизованного электроснабжения и отопления, технологии использования ветровой энергии для производства электроэнергии, технологии производства биотоплива и его использования для генерации электрической и тепловой энергии, системы управления энергопотреблением в зданиях и помещениях, технологии тепловых насосов для отопления и кондиционирования. В промышленности широко используются чистые энергетические технологии в целлюлозно-бумажной промышленности, металлургии, химической промышленности, производстве цемента и бетона, алюминиевой промышленности, а также различные универсальные (межотраслевые) группы технологий, такие как пиролиз, торрефикация, каталитический крекинг и др.

На этапе исследований и разработок находятся многие новые перспективные решения, такие как ядерный синтез и петротермальная энергетика (направление геотермальной энергетике, использующее тепло сухих горных пород)<sup>6</sup>, водородная энергетика. По этим направлениям существуют российские научные школы, активно ведутся исследования. Россия также богата различными видами биотоплива, которые имеет высокий экспортный потенциал<sup>7</sup>.

## Выводы и рекомендации

Для достижения национальных экологических целей и целей Парижского соглашения, а также для решения задач кардинального повышения ресурсоэффективности российской экономики необходимо реализовать комплекс мер по ускоренному переходу России к чистой энергетике. В стране уже существует хороший задел в этой сфере благодаря высокой доле крупных ГЭС, атомных электростанций и эффективных газовых ТЭС. Наряду с до-

---

<sup>6</sup> *Gnatus N. A. et al.* Petrothermal energy and geophysics // Moscow University Geology Bulletin. 2011. Nr. 66. P. 151–157.

<sup>7</sup> ReMap 2030. Renewable Energy Prospects for the Russian Federation // IRENA Working Paper. April 2017. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA\\_REmap\\_Russia\\_paper\\_2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA_REmap_Russia_paper_2017.pdf) (дата обращения 22.02.2022).

стижением климатических целей переход к низкоуглеродным энергетическим технологиям позволит повысить энергетическую безопасность и технологическую независимость, а также снизить негативные эффекты для здоровья и качества жизни граждан. Даже частичное замещение дизельного топлива возобновляемыми источниками энергии в заполярных регионах, где осуществляется северный завоз, позволит существенно снизить расходы на энергообеспечение. Однако сохранение существующей энергетической политики или инкрементальные изменения не позволят решить поставленные задачи.

В ближайшие годы потребуется ограничить или вовсе отказаться от субсидирования ископаемых видов топлива, особенно на фоне высоких цен на них на мировых рынках. При наличии и доступности новых технологий необходим постепенный, начиная с 2026 г., отказ от угля для внутреннего потребления. Переход к качественно иному экономическому росту и структурной трансформации ТЭК предполагает инвестиции в исследования и разработки, собственное производство и распространение технологий:

- ВИЭ (включая крупные ГЭС);
- атомных реакторов со свинцовым теплоносителем и электростанций 4-го поколения (с замкнутым топливным циклом);
- улавливания, хранения и использования углерода для электростанций и промышленных процессов;
- высокоэффективных ТЭС на природном газе;
- энергоэффективных решений в экономике в целом.

Приоритет должен отдаваться реализации проектов, обладающих наибольшим социально-экономическим эффектом, в том числе тем, в результате которых будут созданы новые высокотехнологичные рабочие места и которые будут способствовать технологической трансформации экономики. Другими критериями отбора могут быть высокая степень локализации технологий и минимальная валютная составляющая в затратах, высокий экспортный потенциал. Некоторые решения потребуют создания и развития новой инфраструктуры (например, водород). Для повышения финансовой привлекательности новых проектов чистой энергетики потребуется пересмотр регуляторных требований (в том числе утверждение пониженных коэффициентов риска по кредитам с учетом отрасли, сроков погашения и рейтинга клиента) и снижение обязательных коэффициентов для расчета резервируемых обязательств кредитных организаций.

### 3. КЛИМАТИЧЕСКАЯ РОЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ГИДРАТОВ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ В АРКТИКЕ

*И.П. Семилетов, Н.Е. Шахова, Б.А. Моргунов*

В настоящее время развитие мировой климатологии испытывает трудности, обусловленные в первую очередь недостатком знаний о степени влияния антропогенных и естественных факторов на изменение климата, что приводит к большому количеству неопределенностей в функционировании климатической системы нашей планеты и вызывает ряд серьезных проблем, связанных с планированием развития в области энергетики.

Становится очевидным, что одна из наиболее значимых проблем современной биогеохимии и климатологии — вопрос об основных закономерностях миграции парниковых газов, двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ), которые являются наиболее подвижными звеньями в углеродном цикле. Поэтому оценка мощности антропогенных и природных источников и стоков  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  должна стать фундаментом для изучения и количественной оценки изменений, происходящих в глобальном цикле углерода, которые, в свою очередь, определяют климатические изменения в настоящее время и в ближайшем будущем. Нарушение баланса в цикле углерода, которое проявляется в усилении парникового эффекта — накачке дополнительной энергии в климатическую систему, вызывает не только потепление, но и усиление интенсивности атмосферной циркуляции, что приводит к увеличению частоты катастрофических природных событий, включая ураганы, наводнения, засухи в отдельных районах планеты<sup>1</sup>. Человечество начинает осознавать, что происходящие изменения несут опасность для сбалансированного развития мировой экономи-

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): The Scientific Basis. N.Y.: Cambridge University Press, 2007; Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds). Core Writing Team. Geneva: IPCC, 2014.

ки и человеческого потенциала. В декабре 2020 г., в рамках Парижского соглашения, более 70 стран приняли амбициозные национальные обязательства, направленные на снижение темпов потепления нашей планеты вследствие антропогенного парникового эффекта, что подразумевает переход мировой экономики от потребления углеводородных природных ресурсов к зеленой энергетике. Это соглашение направлено на существенное сокращение глобальных выбросов  $\text{CO}_2$  и метана ( $\text{CH}_4$ ), и ограничение повышения глобальной температуры в XXI в. до  $2^\circ\text{C}$  при одновременном поиске средств для еще большего ограничения этого повышения до  $1,5^\circ\text{C}$ .

Однако в глобальной стратегии энергетического развития складывается парадоксальная ситуация: не учитывается известный факт арктического климатического усиления (Arctic amplification), которое проявляется в 3–4 кратном превышении темпов потепления в Арктике по сравнению со всей планетой, которая нагрелась примерно на  $0,8^\circ\text{C}$  с конца XIX в. — начала индустриальной революции, в то время как Арктика нагрелась на  $2\text{--}3^\circ\text{C}$  за этот же период<sup>2</sup>. В 2005 г. потепление в Арктике уже достигло  $2^\circ\text{C}$ , а в 2018 г. —  $4^\circ\text{C}$ , что находится за пределом самых пессимистичных сценариев Парижского соглашения, нацеленных на 2100 г. Потепление Арктики наиболее ярко проявляется в изменении криосферы:

- 1) драматическом сокращении площади и толщины морских льдов Северного Ледовитого океана;
- 2) отрицательном балансе масс покровных ледников Гренландии и других арктических островов;
- 3) деградации мерзлоты.

Это приводит к изменению баланса в цикле углерода и необходимости пересмотра теории климата в контексте изучения механизма и оценки взаимодействия множества пока малопонятных положительных и отрицательных обратных связей в климатической системе.

---

<sup>2</sup> The polar regions in a  $2^\circ\text{C}$  warmer world / E. Post, R.B. Alley, T.R. Christensen, M. Macias-Fauria, B.C. Forbes, M.N. Gooseff, A. Iler, J.T. Kerby, K.L. Laidre, M.E. Mann, J. Olofsson, J.C. Stroeve, F. Ulmer, R.A. Virginia, M. Wang // Science Advances. 2019. Nr. 5 (12).

При этом в морях Восточной Арктики (далее — МВА) и Карском море содержится более 80% всей подводной мерзлоты на планете, а также запасы углеводородов планетарного масштаба, включая газовые гидраты. Фокус данного раздела — на климатическом аспекте роли арктических шельфовых гидратов, гигантские запасы которых превышают общее количество метана в современной атмосфере в сотни раз (рис. 5). Это значит, что метановый потенциал арктических шельфовых гидратов может рассматриваться в качестве одного из ключевых факторов, способных привести к многократному увеличению содержания атмосферного метана и трудно предсказуемым климатическим последствиям, обусловленным усилением парникового эффекта<sup>3, 4</sup>.

Российские ученые, которые под руководством авторов доклада занимаются данными исследованиями начиная с 1990-х годов<sup>5</sup>, впервые подняли вопрос о прогрессирующей деградации подводной мерзлоты МВА, состояние которой определяет стабильность гидратов и масштабы выбросов метана из донных осадков МВА в водную толщу-атмосферу<sup>6</sup>. Отметим, что наиболее значи-

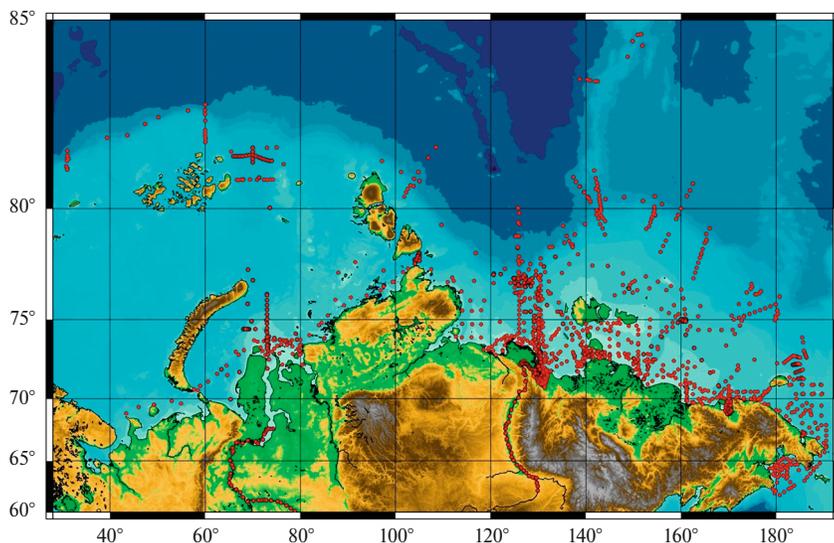
---

<sup>3</sup> *Shakhova N.E., Semiletov I.P.* Methane Hydrate Feedbacks // M. Sommerkorn, S.J. Hassol (eds). Arctic Climate Feedbacks: Global Implications, Published by WWF International Arctic Programme. August, 2009. P. 81–92.

<sup>4</sup> *Shakhova N., Semiletov I.* Trace gas emissions from sub-sea permafrost // Climate Change and the Cryosphere: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). An Arctic Council “Cryosphere Project” in Cooperation with IASC, CliC and IPY, AMAP. Oslo, 2012. P. 97–104.

<sup>5</sup> *Semiletov I. P.* On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions // Journal of the Atmospheric Sciences. 1999. Nr. 56. P. 286–306.

<sup>6</sup> *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A. et al.* Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf // Science. 2010. Nr. 327. P. 1246–1250; *Shakhova N.E., Alexeev V.A., Semiletov I.P.* Accessing future increase in methane emission over the East-Siberian Shelf // Transactions of Russian Academy of Sciences. 2010. Vol. 430 (1); *Shakhova N., Semiletov I., Leifer I. et al.* Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // Nature Geosciences. 2014. Vol. 7. Nr. 1; *Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V. et al.* The East Siberian Arctic Shelf: Towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical Physical and Engineering Sciences. 2015. Nr. 373; *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. 2017. Nr. 8; *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate



**Рис. 5.** Карта-схема комплексных океанографических станций, выполненных авторами доклада в 1999–2021 гг., которые являются основой для выявления и оценки биогеохимических, геологических, и климатических последствий деградации мерзлоты в Арктической климатической системе «суша — шельф — материковый склон»

мые научные результаты прорывного характера были получены в рамках взаимовыгодного сотрудничества между учеными международной группы члена-корреспондента РАН И.П. Семилетова, профессора Н.Е. Шаховой и академика Шведской королевской академии наук, члена Нобелевского комитета по химии профессора О. Густафссона. Результаты, полученные в рамках 49 всесезонных комплексных экспедиций, представленных схематически на рис. 6, стали основой для пересмотра ранних докладов Международной группы экспертов по изменению климата, в которых предполагалось стабильное состояние системы «подводная мерзлота — арктические гидраты». Обоснованные доказательства деградации подводной мерзлоты были опубликованы российскими

System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // Geosciences. 2019. Nr. 9. Art. 251.

учеными в ключевых международных журналах *Science*, *Nature Geoscience*.

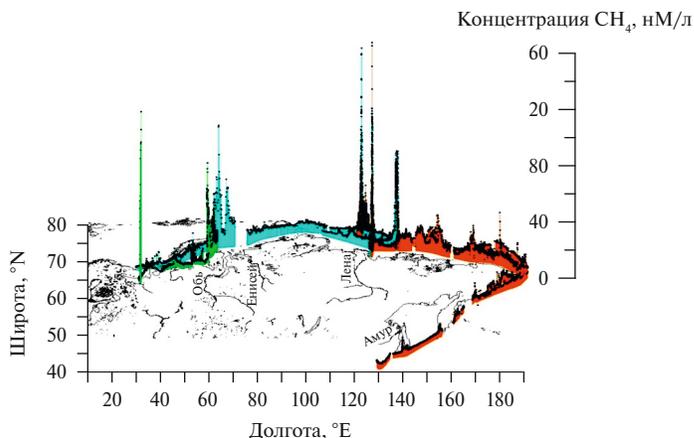
Открытие массивных выбросов метана из МВА в атмосферу<sup>7</sup> привело к полному пересмотру концепции изучения роли подводной мерзлоты, которая ранее считалась стабильной и непроницаемой для газов. Оказалось, что из шельфа МВА в атмосферу поступает количество метана, кратно превышающее эмиссию метана из всего Мирового океана<sup>8</sup>. В 2017 г. в журнале *Nature Communications* были впервые опубликованы вертикальные скорости деградации подводной мерзлоты и новый механизм массивной разгрузки пузырькового метана из донных отложений МВА в водную толщу-атмосферу за счет восходящего движения газового (метанового) фронта (со скоростью до 7–8 м в год) и борозд торошения стамухами и айсбергами, которые вспарывают донные осадки и дают пути разгрузки метана из газового фронта. Результаты (обобщенные в двух авторских монографиях) свидетельствуют о прогрессирующей деградации подводной мерзлоты и массивной разгрузке пузырькового метана. Особое внимание уделяется исследованию генезиса пузырькового метана, скорости разгрузки которого достигают сотен килограммов с квадратного метра в сутки. На основе анализа полного изотопного состава растворенного метана и метана пузырьков было доказано смешанное (биогенное, термогенное и, возможно, абиогенное) происхождение метана в МВА с увеличением фракции термогенного метана по направлению от берега к материковому склону<sup>9</sup>. Это может свиде-

---

<sup>7</sup> Semiletov I.P. On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions // Journal of the Atmospheric Sciences. 1999. Nr. 56. P. 286–306; Shakhova N., Semiletov I., Leifer I. et al. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // Nature Geosciences. 2014. Vol. 7. Nr. 1.

<sup>8</sup> Shakhova N.E., Alexeev V.A., Semiletov I.P. Accessing future increase in methane emission over the East-Siberian Shelf // Transactions of Russian Academy of Sciences. 2010. Vol. 430 (1); Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. 2017. Nr. 8.

<sup>9</sup> Steinbach J., Holmstrand H., Scherbakova K., Kosmach D., Bruchrt V., Shakhova N., Salyuk A., Sapart C., Chernikh D., Noormets R., Semiletov I., Gustafsson O. Source Apportionment of Methane Escaping the Subsea Permafrost System in the Outer Eurasian Arctic Shelf // Proceedings National Academy of Sciences (PNAS). 2021. Nr. 118 (10). Art. e2019672118; Sapart C.J., Shakhova N., Semiletov I., Jansen J., Szi-



**Рис. 6.** Карта-схема распределения содержания растворенного метана ( $\text{CH}_4$ ) в поверхностной воде в морях Севера Евразии

Источник: Модифицирована из: *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // *Geosciences*. 2019. Nr. 9. Art. 251.

тельствовать о вовлечении неучтенных гигантских глубинных геологических источников метана в современный баланс парниковых газов. Эти результаты были включены в основные результаты РАН в 2014, 2017 и 2019 гг.

Одним из объективных индикаторов массированного выброса метана из донных отложений в водную толщу-атмосферу являются аномально высокие значения растворенного метана в поверхностном слое морей, окружающих Россию с севера и с востока. Отметим, что авторами доклада внедрены технологии высокоточных быстрых измерений растворенного метана в поверхностной воде. Это позволило только в рамках последней экспедиции, осуществленной осенью 2021 г. на научно-исследовательском судне (НИС) «Академик Мстислав Келдыш» (АМК-86) в Карском

---

*dat S., Kosmach D., Dudarev O., van der Veen C., Egger M., Sergienko V., Salyuk A., Tumskoy V., Tison J.L., Rockmann T.* The origin of methane in the East Siberian Arctic Shelf unraveled with triple isotope analysis // *Biogeosciences*. 2017. Nr. 14 (9). P. 2283–2292.

море, выполнить более 900 000 измерений, что почти на три порядка больше количества измерений выполненных до 2007 г. во всех морях Мирового океана.

Во время Климатического саммита в Глазго (COP-26) одним из основных предостережений стало включение климатической и геоэкологической опасности, связанной с разрушением арктической подводной мерзлоты и гидратов. Новые данные по данной проблематике были опубликованы 11 ноября 2021 г. в журнале *Science Progress*. До сведения политиков и ученых, при участии авторов данного доклада, была доведена информация о том, что этот процесс невозможно остановить или ослабить. Поэтому главной задачей является выявление основных механизмов, ответственных за ускорение этих процессов, что позволит разработать репрезентативные прогностические модели, которые станут основой для принятия мер по адаптации к ожидаемым быстрым климатическим изменениям, пока не включенным в современную теорию климата. Значимость работы на национальном уровне определяется необходимостью формирования наиболее полной и актуальной базы комплексных данных о функционировании климатической системы арктического региона для выработки мер по сохранению человеческого потенциала и снижению ущерба морским экосистемам российского сектора Арктики, а также при разработке мер по повышению безопасности освоения ресурсов шельфа и эксплуатации Северного морского пути.

Экономический негативный эффект, обусловленный выбросом в атмосферу незначительной доли (1–5%) от предполагаемого метанового гидратного потенциала (консервативная оценка) шельфа МВА, оценивается авторитетными международными организациями (например, Madrid-based humanitarian organization DARA) от 80 млрд долл. США в год, начиная с 2030 г., с основным ущербом на территории Российской Федерации<sup>10</sup>, и до 60 трлн долл. США (экстремальный сценарий) — в случае выброса примерно 50 Гт метана в течение 10 лет, что приведет к дополнительному потеплению климата примерно на 2 °С через 15–35 лет по-

---

<sup>10</sup> *Hoberg J., Ascuí F.* Arctic: Warming impact is uneven // *Nature*. 2013. Aug 29. Nr. 500. Art. 529. URL: <https://www.nature.com/articles/500529c> (дата обращения 23.03.2022).

сле такого массивованного выброса<sup>11</sup>. Основной экономический ущерб связывается с усилением атмосферной циркуляции и циклогенеза, повышением уровня океана, наводнениями и потерей традиционных промыслов коренных народов Севера. Из этого следует, что в долговременной перспективе ущерб от дестабилизации только предполагаемого потенциала гидратов МВА, который контролируется состоянием подводной мерзлоты, может нанести существенный ущерб социально-экономическому развитию не только России, но и в планетарном масштабе. Вышеприведенные результаты экономических расчетов Бизнес-школы Университета Кембридж были выполнены на основе работ авторов данного доклада<sup>12</sup>.

Важно отметить, что роль выбросов основных парниковых газов (двуокиси углерода и метана) в результате деградации наземной мерзлоты оценивается в 43 трлн долл. США до конца следующего столетия (2200 г.), что составляет примерно 8% от ожидаемого интегрального ущерба, вызванного антропогенным потеплением<sup>13</sup>, то есть ежегодный экономический ущерб от относительно медленной деградации наземной мерзлоты оценивается величиной примерно на два порядка ниже, чем от дезинтеграции подводной мерзлоты и выбросов метана из шельфа МВА.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным, что понимание происхождения, механизма и динамики разгрузки метана в атмосферу, вследствие прогрессирующей деградации подводной мерзлоты МВА, является глобальным вызовом. По этой причине на исследование подводной мерзлоты и оценку эмиссии метана из МВА в США и странах ЕС в последние годы выделяются гранты в размере десятков миллионов долларов США, что многократно

---

<sup>11</sup> *Whiteman G., Hope C., Wadhams P.* Climate science: Vast costs of Arctic change // *Nature*. 2013. Nr. 499. P. 401–403.

<sup>12</sup> Cost of Arctic methane release could be “size of global economy” warn experts // University of Cambridge. 2013. 24 July. URL: <https://www.cam.ac.uk/research/news/cost-of-arctic-methane-release-could-be-size-of-global-economy-warn-experts> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>13</sup> *Hope C., Schaefer K.* Economic impacts of carbon dioxide and methane released from thawing permafrost // *Nature Climate Change*. 2015. Nr. 6 (1). URL: [https://www.researchgate.net/publication/283944319\\_Economic\\_impacts\\_of\\_carbon\\_dioxide\\_and\\_methane\\_released\\_from\\_thawing\\_permafrost](https://www.researchgate.net/publication/283944319_Economic_impacts_of_carbon_dioxide_and_methane_released_from_thawing_permafrost) (дата обращения 23.03.2022).

превышает финансирование этого направления исследований в нашей стране.

Одним из принципиально новых результатов последней экспедиции, выполненной на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК-86) в октябре-ноябре 2021 г. под руководством члена-корреспондента РАН И.П. Семилетова, является открытие подводной мерзлоты в Центральной части Карского моря, которая ассоциируется с существованием холодной ветви так называемых «баренцевоморских» трансформированных Атлантических вод. Ранее считалось, что подводная мерзлота в Карском море сохранилась только у западного побережья полуострова Ямал до глубины моря 20 м. Этот результат крайне важен для понимания функционирования морских экосистем на акватории Северного морского пути, а также в контексте возможных георисков, связанных с процессами деградации ранее неучтенной мерзлоты в районах нефтегазовых изысканий ПАО «Роснефть» и ПАО «Газпром», значительная часть которых расположена в Карском море.

В 2022 г. планируется продолжение комплексных исследований состояния подводной мерзлоты и количественной оценки разгрузки метана из донных осадков МВА в водную толщу-атмосферу с борта НИС «Академик Мстислав Келдыш» с фокусом на дестабилизации мелководных гидратов и гидратов шельфового склона. Принципиально новая информация о роли сейсмотектонических процессов, которые являются триггерами дестабилизации гидратов, будет получена после подъема семи донных сейсмических станций, установленных в море Лаптевых 2020 г.

Значимость работы в международном аспекте определяется получением новых оригинальных результатов в области исследования природно-климатической системы «*подводная мерзлота — газовые гидраты*», которые внесут решающий вклад в реализацию проектного предложения Института экологии НИУ ВШЭ «Газовые гидраты: роль в устойчивом развитии и климатической трансформации Арктики», которое рассматривается Рабочими группами межправительственного Арктического совета по устойчивому развитию (SDWG) и по мониторингу в Арктике (AMAP). На национальном уровне результаты проекта планируется использовать для выработки мер по сохранению человеческого потенциала и снижению ущерба морским экосистемам Арктической зоны Российской Федерации, а также для использования при разработке

мер по повышению безопасности освоения ресурсов шельфа и эксплуатации Северного морского пути.

### Выводы и рекомендации

Отсутствие межведомственной эффективной координации исследований в Российской части Арктики и доминирование иностранного финансирования над российским может привести к потере лидирующей роли российских ученых, несмотря на имеющиеся достижения и последние успехи в этой области. Поэтому в рамках реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений (Указ Президента Российской Федерации от 8 февраля 2021 г. № 76) целесообразно создать *Национальный центр изучения климатических и экологических последствий деградации мерзлоты*, в рамках деятельности которого исследовать и количественно оценить шельф МВА и Карского моря в качестве источника метана в настоящем и ближайшем будущем. В этом контексте крайне важно понять механизм взаимодействия между современным потеплением — деградацией подводной мерзлоты — потоками основных парниковых газов ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ). Это позволит сохранить и усилить лидирующие позиции российских ученых в исследовании Арктики. Одним из ожидаемых результатов является пересмотр современного баланса атмосферного метана, который не учитывает вклад МВА, и выбросы которого как минимум соизмеримы с антропогенным выбросом метана с территории США<sup>14</sup>. Более того, это позволит внести значительный вклад в выявление и оценку положительных и отрицательных обратных связей между природными и антропогенными процессами, определяющими функционирование арктической климатической системы, что могло бы стать существенным вкладом России в развитие международной научной кооперации во время председательства нашей страны в Арктическом совете (2021–2023 гг.). Также Центр может

---

<sup>14</sup> Miller S.M., Wofsy S.C., Michalak A.M., Kort E.A., Andrews A.E., Biraud S.C., Dlugokencky E.J., Eluszkiewicz J., Fischer M.L., Janssens-Maenhout G., Miller B.R., Miller J.B., Montzka S.A., Nehrkorn T., Sweeney C. Anthropogenic emissions of methane in the United States // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013. Nr. 110. P. 20018–20022.

стать платформой мирового уровня для развития циркумполярной Арктической базы данных по геохимическому, молекулярному и изотопному составу донных осадков арктических шельфовых морей, что можно осуществить только путем существенного улучшения координации исследований всех заинтересованных сторон. Прототипом этой базы данных может стать первая база данных, созданная на основе результатов, полученных российскими учеными в экспедициях, представленных на рис. 6, которая была модифицирована совместно с группой Орьяна Густафссона из Стокгольмского университета и другими партнерами<sup>15</sup>.

Платформой для создания Центра мог бы стать Научный центр мирового уровня, который функционирует на базе НИУ ВШЭ. Одним из ожидаемых результатов деятельности предлагаемого к созданию Центра будет уникальный вклад России в пересмотр современных оценок баланса атмосферного метана, который не учитывает количество метана, поступающего из морей МВА в краткосрочной перспективе с возможным изменением фокуса международных усилий, направленных на адаптацию к климатическим изменениям.

---

<sup>15</sup> *Martens J., Romankevich E., Semiletov I., Wild B., van Dongen B., Vonk J., Tesi T., Shakhova N., Dudarev O.V., Kosmach D., Vetrov A., Lobkovsky L., Belyaev N., Macdonald R.W., Pieńkowski A.J., Eglinton T.I., Haghypour N., Dahle S., Carroll M.L., Åström E.K.L., Grebmeier J.M., Cooper L.W., Possnert G., Gustafsson Ö.* CASCADE — The Circum-Arctic Sediment CARbon DatabasE // *Earth System Science Data*. 2021. Nr. 13. P. 2561–2572.

## 4. АДАПТАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА: ФАКТОРЫ РЕЗИЛИЕНТНОСТИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, ЛОКАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И РАССЕЛЕНИЯ

*Н.К. Куричев, А.В. Птичников, В.В. Виноградова,  
Р.Г. Грачева, А.В. Шелудков, О.Б. Глезер, А.В. Котов,  
А.Н. Золотокрылин, Т.Б. Титкова*

Регионы и муниципалитеты России резко различаются по уязвимости для шоков и рисков, связанных с изменениями климата как таковыми и глобальной климатической политикой как реакцией на эти изменения. Эти различия определяются текущими природно-климатическими условиями, структурой региональных и локальных экономик, практиками природопользования. Уязвимость населения для неблагоприятных климатических условий в перспективе будет снижаться из-за оттока населения из северных и восточных регионов в южные и западные регионы, а также потепления климата. Но будет в целом расти уязвимость населения, инфраструктуры и отраслей экономики для экстремальных природно-климатических явлений, а также для рисков потери конкурентоспособности компаний из-за последствий глобальной климатической политики. Для компенсации этих рисков можно использовать значительный потенциал природно-климатических решений (ПКР; *nature-based solution*), которым располагает Россия. Формально ПКР играют ключевую роль в Стратегии низкоуглеродного развития РФ, предполагающей достижение углеродной нейтральности к 2060 г. за счет более чем двукратного роста поглощения углерода лесами. Но адаптационные меры, предусмотренные в Плане адаптации к изменению климата в сфере природопользования, Стратегии развития лесного комплекса, Отраслевом плане адаптации агропромышленного комплекса (АПК), явно недостаточны и в ряде случаев неэффективны. Реализация адекватных подходов к адаптации к изменениям климата, меняющим условия для сельского и лесного хозяйства, и к глобальной климатической политике, требующей перехода к низкоуглеродным

практикам, обеспечит долгосрочную конкурентоспособность этих секторов российской экономики. Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы, утвержденная Правительством<sup>1</sup>, предусматривает проведение анализа и прогнозирования влияния изменений климата на урбанизированные и приморские территории, а также области распространения многолетней мерзлоты, и учет социальных рисков и возможностей, в том числе связанных с внутренней и внешней миграцией населения.

### **Уязвимость и адаптация населения России для климатических рисков**

Оценка уязвимости населения для изменений климата должна учитывать пространственную неравномерность — как потепления и его природных последствий, так и освоенности и заселенности территории России. Масштабные макрорегиональные сдвиги в размещении населения в постсоветский период, растущая плотность застройки в немногих городских ареалах и агломерациях происходят в условиях роста частоты опасных природно-климатических явлений и изменений благоприятности климата в разных частях страны. На данном этапе оценено распределение населения России во второй половине XX — начале XXI в. по зонам природно-климатической комфортности.

Методика, разработанная в Институте географии РАН, позволяет получить интегральную оценку *комфортности (дискомфортности) природно-климатических условий жизнедеятельности населения* на территории России по показателям, рассчитанным в баллах в каждой точке градусной сетки ( $2,5 \times 2,5^\circ$ ): средний балл показателей зональных<sup>2</sup> факторов корректируется при помощи азональ-

---

<sup>1</sup> Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы. URL: <http://static.government.ru/media/files/Ekv7TcPAJBv4n3oUn6ofUdAR5cu5W1PM.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>2</sup> Астрономический (продолжительность дня и ночи); радиационный (ультрафиолетовая недостаточность-избыточность); холодовой (сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой ниже  $-30^\circ\text{C}$ , продолжительность отопительного периода); мерзлотный (мощность

**Таблица 3.** Площадь зон природно-климатической комфортности  
(% от территории России)

№ зоны	Зона комфортности	Балл	1961–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2020
1	Наиболее благоприятная	< 2,00	2	0,1	3	0,4
2	Благоприятная	2,00–3,29	7	13	10	14
3	Условно благоприятная	3,30–3,59	6	7	6	9
4	Условно неблагоприятная	3,60–4,49	22	25	30	34
5	Неблагоприятная	4,50–4,89	19	14	15	12
6	Очень неблагоприятная	4,90–5,69	21	25	21	23
7	Абсолютно неблагоприятная	≥ 5,70	23	16	15	8

ных<sup>3</sup> факторов<sup>4</sup>. Выделено семь зон (табл. 3) для среднесуточных условий 1961–1990 гг., и показана их динамика в последующие периоды 1991–2000, 2001–2010, 2011–2020 гг.

Расчеты отражают два значимых тренда в изменении природно-климатических условий жизни населения Российской Федерации в последние три десятилетия (рис. 7). Первый связан с расширением зоны благоприятных и условно благоприятных условий на севере Европейской территории России (ЕТР), на юге Сибири и Дальнего Востока при одновременном сжатии зон неблагоприятных условий, ранее покрывавших значительные территории в азиатской части страны. В то же время нарастающая экстремальность и засушливость климата, особенно проявившаяся в 2010-е годы в

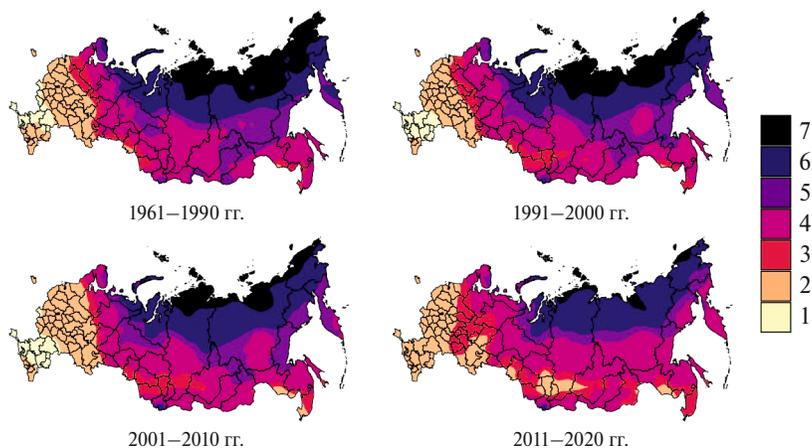
---

сезонно-талого слоя); тепловой (продолжительность безморозного периода, сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10 °С); увлажненность территории (гидротермический коэффициент Селянинова); ветровой (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла; изменчивость атмосферного давления (среднеквадратическое отклонение суточных величин давления).

<sup>3</sup> Горный (абсолютная высота местности); заболоченность (относительная заболоченность территорий); стихийные явления (сейсмичность, наводнения, тайфуны, цунами).

<sup>4</sup> Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012.

#### 4. Адаптация территорий к изменениям климата: факторы резилентности природопользования, локальной экономики и расселения



1 — наиболее благоприятная; 2 — благоприятная; 3 — условно благоприятная; 4 — условно неблагоприятная; 5 — неблагоприятная; 6 — очень неблагоприятная; 7 — абсолютно неблагоприятная.

**Рис. 7.** Зоны природно-климатической комфортности

виде череды засух, привела к ухудшению ситуации на юге ЕТР и в Поволжье.

Чтобы оценить масштабы природно-климатических изменений для населения, мы сопоставили результаты с демографическими данными. Статистические данные и прогнозные оценки численности населения представлены по административно-территориальным единицам, поэтому для крупных северных и восточных регионов с контрастным расселением, расположенных на границе природно-климатических зон, прямые сопоставления численности населения и значения индекса комфортности природно-климатических условий невозможны. Для соединения данных о климате и населении на основе данных о современной сети населенных пунктов (всего 156 тыс.)<sup>5</sup> был рассчитан потенциал поля

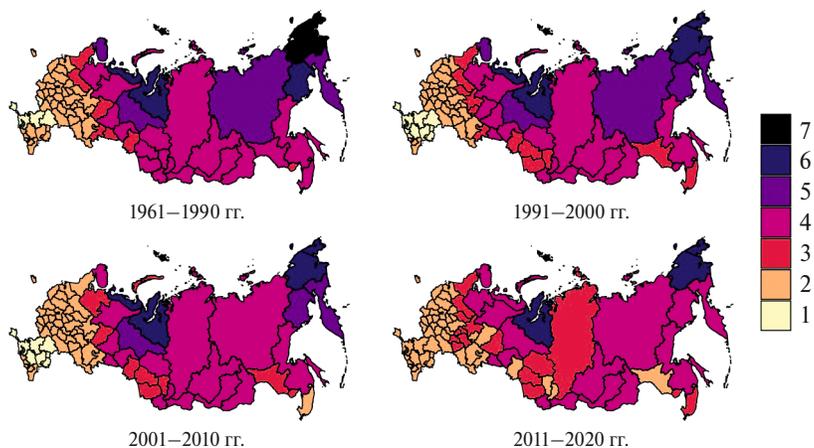
<sup>5</sup> Населенные пункты России: численность населения и географические координаты. Источник: Минздрав РФ; обработка: Инфраструктура научно-исследовательских данных, АНО «ЦПУР», 2021. URL: <http://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/160/> (дата обращения 20.11.2021).

**Таблица 4.** Оценка численности населения и его динамики по зонам природно-климатической комфортности

Зона	Среднегодовая* численность населения (млн человек)				Изменение (млн человек) с 1961–1990 по 2011–2020 гг., в том числе за счет	
	1961–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2020	естественных и миграционных прироста/убыли	изменения климатических условий
1	14	19,9	19	0	0	-14
2	76,9	75,8	88,7	101	+7,3	+16,8
3	11,5	23,3	15,1	29,4	-0,25	+18,15
4	29,5	24,9	21	15	-0,1	-14,4
5	2,53	4,08	1,99	0	0	-2,53
6	0,53	0,65	0,61	0,58	+0,34	-0,29
7	0,11	0	0	0	0	-0,11

\* Используются данные о численности населения в регионах РСФСР/РФ по итогам переписей 1959, 1970, 1979, 1989, 2002, 2010 гг. и текущие оценки Росстата на 2020 г.

#### 4. Адаптация территорий к изменениям климата: факторы резилентности природопользования, локальной экономики и расселения



1 — наиболее благоприятная; 2 — благоприятная; 3 — условно благоприятная; 4 — условно неблагоприятная; 5 — неблагоприятная; 6 — очень неблагоприятная; 7 — абсолютно неблагоприятная.

**Рис. 8.** Оценка природно-климатической комфортности жизни населения по регионам с учетом неравномерности расселения

расселения<sup>6</sup>: в каждой точке значения потенциала тем выше, чем крупнее и ближе населенные пункты в радиусе 90 км.

При расчете среднего индекса комфортности природно-климатических условий для региона значения в каждой точке взвешивались по потенциалу поля расселения и усреднялись. Таким образом, итоговая оценка климатической комфортности в регионе на разные временные периоды в большей степени учитывает плотно населенные районы, в меньшей — малонаселенные. Полученное распределение населения по зонам природно-климатической комфортности (табл. 4) позволяет оценить масштабы и тенденции в изменении климатических условий для жизни населения с учетом сдвигов в его расселении в результате естественных прироста/убыли и миграций.

<sup>6</sup> Giraud T., Commenges H. Potential: Implementation of the Potential Model. R package version 0.1.0. 2020. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=potential> (дата обращения 23.03.2022).

Изменение природно-климатических условий в течение постсоветского периода затронуло десятки миллионов человек, особенно заметно (рис. 8) в сторону улучшения — на Урале, юге Западной Сибири и Дальнего Востока (всего 19 регионов), в сторону ухудшения — на юге ЕТР и в Поволжье (всего 15 регионов).

Масштабы климатических изменений заметно опережают сдвиги в расселении, но оба фактора работают в одном направлении — в сторону концентрации населения в районах с более благоприятными условиями, так что в период 2011–2020 гг. на две наиболее благоприятные зоны (2 и 3) стало приходиться почти 90% численности населения России (табл. 2).

### **Актуальные задачи адаптации лесов России к изменениям климата**

Лесной сектор играет центральную роль в российской климатической политике. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года<sup>7</sup> (далее — Стратегия) в своем целевом сценарии предполагает повышение поглощающей способности экосистем с 535 млн т CO<sub>2</sub>-экв. в 2019 г. до 1200 млн т в 2050 г. Вместе с тем леса России подвергаются масштабному воздействию изменения климата и нуждаются в реализации комплекса мер по адаптации как к самим изменениям, так и к последствиям глобальной климатической политики.

Стратегия предусматривает принятие отраслевых и региональных планов по адаптации к изменениям климата и энергопереходу. Предложенные в Стратегии мероприятия в лесном секторе можно *экспертно* отнести к мерам и техническим мероприятиям по митигации и адаптации<sup>8</sup> (табл. 5).

---

<sup>7</sup> Утверждена Распоряжением Правительства от 29.10.2021 № 3052-р. Также разработан, но не утвержден План мероприятий (операционный план) реализации Стратегии.

<sup>8</sup> Важное различие между митигацией и адаптацией заключается в том, что меры по митигации могут быть оформлены в виде климатического проекта, где может быть определен базовый и улучшенный сценарий, а углеродные единицы могут быть проданы. Меры по адаптации важны для смягчения последствий изменений климата, но их результат сложно оценить количественно и нельзя оформить в виде климатического проекта.

**Таблица 5.** Меры Стратегии низкоуглеродного развития в лесном секторе

Митигация	Адаптация	Технические мероприятия
Обводнение ранее осушенных болот	Повышение эффективности управления лесами, усиление охраны и защиты лесов	
Мероприятия по уходу за лесными насаждениями для увеличения поглощающей способности лесов	Совершенствование мер санитарной безопасности в лесах и ликвидации очагов вредных организмов	Создание сети лесных селекционно-семеноводческих центров по выращиванию посадочного материала в регионах
Увеличение площади лесовосстановления	Повышение эффективности мер пожарной безопасности в лесах, предупреждение возникновения и распространения лесных пожаров	Создание региональных центров авиационной охраны лесов от пожаров, увеличение количества самолетов для обнаружения и мониторинга лесных пожаров и т.д.

В международной практике уже сложилось понимание механизмов работы лесоклиматических проектов (ЛКП) как ключевого механизма митигации и ключевого вида ПКР. На данный момент климатические проекты реализуются в рамках Механизма чистого развития (Clean development mechanism)<sup>9</sup> и систем сертификации добровольного рынка (основные системы Verra, Gold Standard<sup>10</sup>). Данные механизмы и стандарты действуют уже почти 20 лет, по ним верифицированы сотни проектов сокращения выбросов / поглощения лесами в общем объеме 4–5 млрд т CO<sub>2</sub>-экв.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> Clean Development Mechanism (CDM). URL: <https://cdm.unfccc.int/> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>10</sup> VERRA Standards for a Sustainable. URL: <https://verra.org/> (дата обращения 23.03.2022); Gold Standard. URL: <https://www.goldstandard.org/> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>11</sup> Сулин А., Дайман С., Белоглазова О. Углеродные единицы: динамика и потенциал // ЕУ [Электронный ресурс]. 27 янв. 2022. URL: <https://www.ey.com/>

**Таблица 6.** Международная и российская номенклатура ЛКП  
для бореальных лесов

Международная номенклатура	Российская номенклатура
Предотвращение эмиссий ПГ из-за обезлесения/невырубки: добровольное сохранение лесов	Отсутствует
Предотвращение эмиссий от лесных пожаров: снижение горимости	Имеется
Увеличение поглощения ПГ: защитное лесоразведение, облесение и лесовосстановление	Имеется
Восстановление экосистем	Отсутствует
Обводнение обсохших водно-болотных угодий (ВБУ)	Отмечено в Стратегии, в дорожной карте обозначены только научные исследования по этому вопросу
Устойчивое лесопользование (интенсификация)	

Формирующийся сегмент рынка по решению COP-26 (Глазго, ноябрь 2021 г.) — проекты устойчивого развития (SDM) в рамках статьи 6.4 Парижского соглашения. В основу стандартов для SDM, включая вопросы разработки методологии, оценки рисков и отчетности, будет положен опыт существующих систем верификации (Gold Standard, Verra). При этом налицо несоответствие между международными методологиями ЛКП и предлагаемыми мерами в Стратегии, равно как и в проекте Операционного плана низкоуглеродного развития РФ (табл. 6). В российской номенклатуре нет одного из ключевых видов климатических проектов — *добровольное сохранение части ценных лесов от рубки* в аренде для заготовки древесины, в которой находится около 180 млн га лесов. В рамках добровольной лесной сертификации 60 млн га лесов сертифицировано по системам FSC/PEFC, уже сохраняется 2–3 млн га лесов высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) сверх требований законодательства, что позволяет получить единицы сокращений выбросов в объеме не менее 5–7 млн т CO<sub>2</sub>-экв./год.

Климатические изменения на территории России происходят существенно быстрее, чем в мире в целом, и создают для лесного хозяйства как новые возможности (повышение продуктивности экосистем и увеличение приростов в регионах, где лимитирующим фактором является теплообеспеченность), так и серьезные риски (увеличение частоты и масштабов лесных пожаров, распространение вредителей, угнетение лесов из-за засух, возможные последствия деградации вечной мерзлоты). Все это требует комплекса мер по адаптации российского лесного хозяйства к изменениям климата<sup>12</sup>. Согласно Плану адаптации к изменению климата в сфере природопользования<sup>13</sup>, наиболее существенные погодноклиматические риски для лесного хозяйства вызывают лесные пожары, воздействие экстремальных погодных явлений, вредители и болезни леса. Мероприятия по адаптации в приказе (табл. 7) почти полностью повторяют мероприятия Федерального проекта «Сохранение лесов» до 2024 г. (в рамках нацпроекта «Экология»), который предусматривает меры по лесовосстановлению и борьбе с пожарами.

Адаптационные меры в Плане адаптации МПР явно недостаточны по сравнению с целевыми показателями Стратегии низкоуглеродного развития России. Необходимо:

- 1) дополнить номенклатуру ЛКП проектами по добровольному сохранению лесов, обводнению ВБУ; сделать перечень типов ЛКП в разрабатываемом Национальном реестре климатических проектов открытым<sup>14</sup>;
- 2) снять нормативно-правовые барьеры для реализации ЛКП, включая введение нового вида аренды в целях реализации ЛКП в ст. 25 Лесного кодекса РФ; устранить противоречия для реализации ЛКП на заброшенных землях сельскохо-

---

<sup>12</sup> Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017.

<sup>13</sup> Утвержден приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30.09.2021 № 38-р.

<sup>14</sup> Включаемые в номенклатуру ЛКП должны соответствовать принципам устойчивого развития (ЦУР), IUCN Global Standard for Nature-based Solutions и быть климатическими (то есть обеспечивать необходимый выход УЕ по приемлемой себестоимости), быть привлекательными и понятными для инвесторов.

**Таблица 7.** Меры и показатели адаптации для лесов в рамках  
Плана адаптации

Меры адаптации	Показатели адаптации
Повышение эффективности мероприятий пожарной безопасности в лесах: предотвращение возникновения и распространения лесных пожаров, в том числе контроль пожарной опасности, работы по противопожарному обустройству лесов	Мониторинг и предупреждение лесных пожаров. Доля лесных пожаров, потушенных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве лесных пожаров к 2024 г. — 80,34%
Воспроизводство лесов и лесоразведение (по федеральному проекту «Сохранение лесов»)	Положительный баланс воспроизводства лесов. Повышение адаптационных возможностей лесного хозяйства к негативным последствиям изменения климата. Площадь лесовосстановления и лесоразведения — 100% от площади вырубленных и мертвых древостоев к 2024 г.

- зяйственного назначения (ст. 78 Земельного кодекса) путем включения ЛКП в число разрешенных видов деятельности; иметь возможность учета единиц выбросов, получаемых инвестором в результате реализации ЛКП, при расчете углеродного следа;
- 3) расширить набор адаптационных мероприятий в лесном секторе как минимум до набора мероприятий в Стратегии. Такие дополнительные меры включают облесение, проекты по уходу за лесом (устойчивая интенсификация), снижение потерь углерода при лесозаготовках и при изменении практик лесопользования, охрану и защиту лесов, постепенную замену монокультур смешанными насаждениями при лесовосстановлении;
  - 4) гармонизировать ФП «Сохранение лесов» с целями и задачами Стратегии по лесам для достижения целевых показателей увеличения поглощения к 2050 г.

## **Уязвимость и адаптация к изменениям климата в аграрном секторе: пример органического сельского хозяйства**

В последние десятилетия все более заметную роль в мировом и российском агропромышленном секторе играет органическое сельское хозяйство, возникшее в противовес индустриальному аграрному производству, в ответ на растущие требования общества к охране окружающей среды и социальной справедливости. На фоне усиления климатических рисков именно органические хозяйства, в силу принципов «органической идеологии» и практики, могут стать наиболее адаптивной частью аграрного комплекса и способствовать общей резилиентности территории.

В России сформирована нормативно-правовая база, необходимая для развития производства органической продукции: в 2015–2021 гг. вступил в силу ряд государственных стандартов, а в 2020 г. — федеральный закон<sup>15</sup>, создавший правовые основания для борьбы с гринвошингом, появления российских сертифицирующих компаний и регулируемой маркировки органической продукции. По данным FiBL, в 2020 г. площадь сертифицированной под органическое производство земли в России составила 0,62 млн га<sup>16</sup>; на 18 февраля 2022 г. в официальный реестр производителей органической продукции внесено 101 хозяйство в 40 регионах страны (главным образом в Центре и на Юге России, в Среднем Поволжье и на юге Западной Сибири). Речь идет как о крупных компаниях (холдинг «АгриВолга», структуры компаний «ХиПП Русь» и «Нестле Россия»), так и о фермерских хозяйствах. А с учетом компаний, работающих с иностранными сертификатами, общее число производителей органической продукции в России находится в пределах 150; еще 10 компаний вовлечены в производство органических удобрений и биопрепара-

---

<sup>15</sup> Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 № 280-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_304017/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304017/) (дата обращения 23.03.2022).

<sup>16</sup> FiBL. Data on organic agriculture in the World in 2000–2020 // The Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Frick, Switzerland. 2022. URL: <https://statistics.fibl.org/data.html> (дата обращения 23.03.2022).

тов<sup>17</sup>. Тем не менее по сравнению с другими европейскими странами органическое сельское хозяйство в России пока находится на ранних стадиях развития<sup>18</sup>: в Германии, Франции и Испании число производителей насчитывает десятки тысяч, а доля сертифицированных под органическое производство земель в ЕС превышает 9%<sup>19</sup>. Для производства в России 10% мирового объема органической продукции необходимо сертифицировать не менее 14,5 млн га земли, что в 50 раз больше текущего уровня<sup>20</sup>.

Перспективы будущего роста обусловлены стабильным ростом рынка органической продукции (в 2021 г. его объемы подошли к отметке в 8 млрд руб.<sup>21</sup>) и возможностями ввода в оборот ранее брошенных сельскохозяйственных земель. В России, по различным оценкам, из аграрного производства выведено около 50–75 млн га земель; из 122 млн га пашни 4,9 млн га официально переведено в залежи<sup>22</sup>. Главное условие ведения органического производства — отказ от синтетических удобрений, пестицидов и кормовых добавок в пользу максимального использования естественного потенциала природных ландшафтов. Нечерноземье, где на заброшенных полях в течение 2–3 десятилетий не использовались химические удобрения (например, котловина озера Неро,

---

<sup>17</sup> Национальный органический союз. Перечень российских сертифицированных производителей органической продукции. 2022. URL: <https://rosorganic.ru/files/Perechen%20sx%20proizvoditeley.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>18</sup> Gracheva R.G., Sheludkov A.V. Diffusion of organic agriculture in Russia: Features and implications for rural development // Regional Research of Russia. 2021. Vol. 11. Nr. 4. P. 578–588.

<sup>19</sup> The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2022 // H. Willer, J. Travnicek, C. Meier, B. Schlatter (eds). Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM. Bonn: Organics International, 2022.

<sup>20</sup> Lysenkova A. Country Report Organic. Russia. 2020. Dresden, 2020. URL: [http://www.ekoconnect.org/tl\\_files/eko/p/Projekte/МОЕ-Laenderberichte/Country-Report-Organic-RUSSIA-EkoConnect-2020.pdf](http://www.ekoconnect.org/tl_files/eko/p/Projekte/МОЕ-Laenderberichte/Country-Report-Organic-RUSSIA-EkoConnect-2020.pdf) (дата обращения 23.03.2022).

<sup>21</sup> Тенденции и тренды потребления органической продукции в России. Strategy Partners, 2022. URL: <https://rosorganic.ru/news/tendenczii-i-trendyi-potrebieniya-o.html> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>22</sup> Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 г. // Росреестр. Официальный сайт. URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения 23.03.2022).

бывшая овощным огородом России, земли Владимирского ополья), районы террасного земледелия на Северном Кавказе, горные пастбища, таежные районы Европейской России и Сибири, богатые дикоросами, могут быть идеальными территориями для развития фермерского органического сельского хозяйства, опирающегося на современные технологии, аграрную историю региона и опыт местного населения.

Неожиданным фактором в пользу органического сельского хозяйства могут стать климатические изменения. Так, на Северном Кавказе уже отмечается заметное повышение высотных границ плодоношения плодовых насаждений. В Дагестане разработана программа развития горного садоводства, предполагающая вовлечение в оборот террасных земель, пригодных для закладки садов в широком диапазоне высот (например, в Лакском районе до 2100 м над уровнем моря)<sup>23</sup>. Несмотря на неурегулированность земельных отношений, которая является главным препятствием в получении господдержки, возрождение садоводства, поддержанное крупными инвесторами (АПХ «Экокультура» и др.), может стать одним из стимулов развития органического хозяйства в регионе.

Отрасль не попала в Государственную программу развития сельского хозяйства до 2025 г.<sup>24</sup>, но многие регионы разработали свои программы поддержки органических производителей (Воронежская область, Татарстан и др.), что быстро отразилось на росте числа малых органических хозяйств (по данным Национального органического союза). Основные проблемы, затрудняющие развитие органического производства, — низкая плотность органических ферм, расположенных обычно далеко друг от друга; отсутствие локальных ассоциаций производителей для обмена опытом и знаниями; неумение фермеров вести документацию, необходимую для отслеживания всех этапов органического производства; фермерские хозяйства не являются наследственными, отсюда не-

---

<sup>23</sup> Развитие горных территорий // Министерство экономики и территориального развития Республики Дагестан. Официальный сайт. URL: [http://www.mines-rd.ru/razvitie-gornykh-territoriy\\_2](http://www.mines-rd.ru/razvitie-gornykh-territoriy_2) (дата обращения 23.03.2022).

<sup>24</sup> Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена Постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717, в редакции от 18 марта 2021 г.

достаток знаний, передающихся из поколения в поколение. Необходимо создание образовательной платформы, основанной на научных подходах и международных стандартах, доступной для производителей (мультимедийные образовательные материалы небольшого размера, специальные руководства, помогающие принимать обоснованные решения<sup>25</sup>).

Можно выделить как минимум два позитивных следствия развития органического сельского хозяйства в контексте повышения резилиентности сельских территорий в России:

- 1) вовлечение в оборот земель, которые не интересны крупным индустриальным производителям, создание рабочих мест в удаленных сельских районах и сохранение культурного ландшафта сельской местности;
- 2) создание конкурентных преимуществ для небольших хозяйств, которые могут выходить на рынок, минуя борьбу с крупными холдингами.

Строгие стандарты ведения органического хозяйства предусматривают минимизацию выбросов парниковых газов, что внесет вклад в достижение целей низкоуглеродного развития России. Кроме того, органическое хозяйство предъявляет спрос на инновации, связанные с биологизацией производства. В стране появились фабрики энтомофагов; работает научная индустрия создания биопрепаратов, к которым не адаптируются вредители; разработаны многопольные севообороты с точно рассчитанным балансом питательных элементов и сохранением живого вещества почвы. Эти шаги в сторону экологически чистых технологий ведут к смягчению воздействия сельского хозяйства на окружающую среду и, опосредованно, на климат.

### **Уязвимость и адаптация регионов России к изменениям климата и глобальной климатической политике**

Риски, связанные с изменениями климата и глобальной климатической политикой, и адаптация им в значительной степени

---

<sup>25</sup> Rotz C.A., Corson M.S., Chianese D.S., Montes F., Hafner S.D., Bonifacio H.F., Coiner C.U. The Integrated Farm System Model: Reference Manual/Version 4.4. Washington, DC: US Dep. Agric., 2018.

реализуются на региональном и локальном уровне. Регионы России резко различаются по природным и социально-экономическим условиям, а поэтому — и по профилю рисков и возможностей адаптации. Риски в регионе могут накапливаться и мультиплицироваться, формируя в результате разрушительный каскадный эффект для региональных экосистем, экономик, инфраструктуры и местных сообществ. Особенно значительными последствия могут быть в малых периферийных регионах, где высокие природные риски сочетаются с ограниченным доступом к капиталу, знаниям и технологиям. Реализация стратегий низкоуглеродного развития в периферийных малых экономиках слабо изучена, хотя существуют единичные исследования по механизмам низкоуглеродных инноваций на периферии<sup>26</sup>, неравномерности энергоперехода между урбанизированным ядром и сельскими сообществами<sup>27</sup> и взаимодействия агентов при разработке программ низкоуглеродного развития в отдаленных регионах<sup>28</sup>. Рассмотрим регионализацию глобальной зеленой повестки на примере Калмыкии и Тывы.

Калмыкия — засушливый регион на юге Европейской России, а рост вероятности экстремальных засух — одно из наиболее опасных последствий изменения климата и сильнейший вызов для резилиентности территорий<sup>29</sup>. С начала XXI в., после обширных засух 2003 и 2007 гг., в регионе сложилась устойчивая тенденция снижения увлажнения<sup>30</sup>. Засухи в Калмыкии повторяются не реже трех-пяти раз за десятилетие. В 2000–2021 гг. в июле в Калмыкии

---

<sup>26</sup> *Tirado-Herrero S., Fuller S.* De-centering transitions: Low-carbon innovation from the peripheries // *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2021. Vol. 41. P. 113–115.

<sup>27</sup> *O'Sullivan K., Golubchikov O., Mehmood A.* Uneven energy transitions: Understanding continued energy peripheralization in rural communities // *Energy Policy*. 2020. Vol. 138. Art. 111288.

<sup>28</sup> *Markantoni M.* Low Carbon Governance: Mobilizing Community Energy through Top-Down Support? // *Environmental Policy and Governance*. 2016. Vol. 26. Iss. 3. P. 155–169.

<sup>29</sup> *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report.* URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения 15.03.2022).

<sup>30</sup> *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В.* Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000–2014 гг. // *Аридные экосистемы*. 2016. Т. 22. № 1 (66). С. 5–10.

ежегодно наблюдались значительные площади земель, подверженных опустыниванию, но площади с сильной засухой — только в аномальные годы<sup>31</sup>.

Засуха 2020 г. была одной из сильнейших. Осенью 2019 г. в Калмыкии выпало достаточное количество осадков, что способствовало росту пастбищной растительности, а зима 2019/20 г. была теплой и с осадками меньше климатической нормы. Снежный покров практически не сформировался<sup>32</sup>. Эта ситуация предопределила чрезмерную эксплуатацию естественных кормовых угодий ранней весной. Фермеры в Калмыкии были вынуждены продать часть скота, а оставшийся начали кормить из имеющихся запасов еще с поздней зимы. С начала мая 2020 г. сложился погодный режим с высокими температурами (+25...+35 °С), редкими осадками, преимущественно ливневого характера, и длительными суховеями. Почвенная засуха началась уже с конца весны с температурой почвы до +60 °С. В мае 2020 г. очаг средней засухи<sup>33</sup> занимал площадь около 540 км<sup>2</sup> (рис. 9), ареалы с менее интенсивной засухой мозаично отмечались по всей территории и занимали 2705 км<sup>2</sup>. В июле-августе появились очаги сильной засухи площадью более 1000 км<sup>2</sup>; всего в августе засуха занимала более 14 тыс. км<sup>2</sup>. В результате засухи 2020 г. выгорело больше половины пастбищных территорий, погибли пастбища на территории 2,8 млн га.

Рост частоты и интенсивности засух в результате изменения климата увеличивает уязвимость пастбищных угодий Калмыкии к изменению климата и требует разработки и внедрения адаптационных мер, уменьшающих последствия иссушения и деградации земель (рис. 9). Поскольку аридизация климата продолжается, необходим комплекс мер, предусматривающих снижение антропогенной нагрузки на пастбища, контроль за перевыпасом скота и адаптацию пастбищных угодий к последствиям потепления кли-

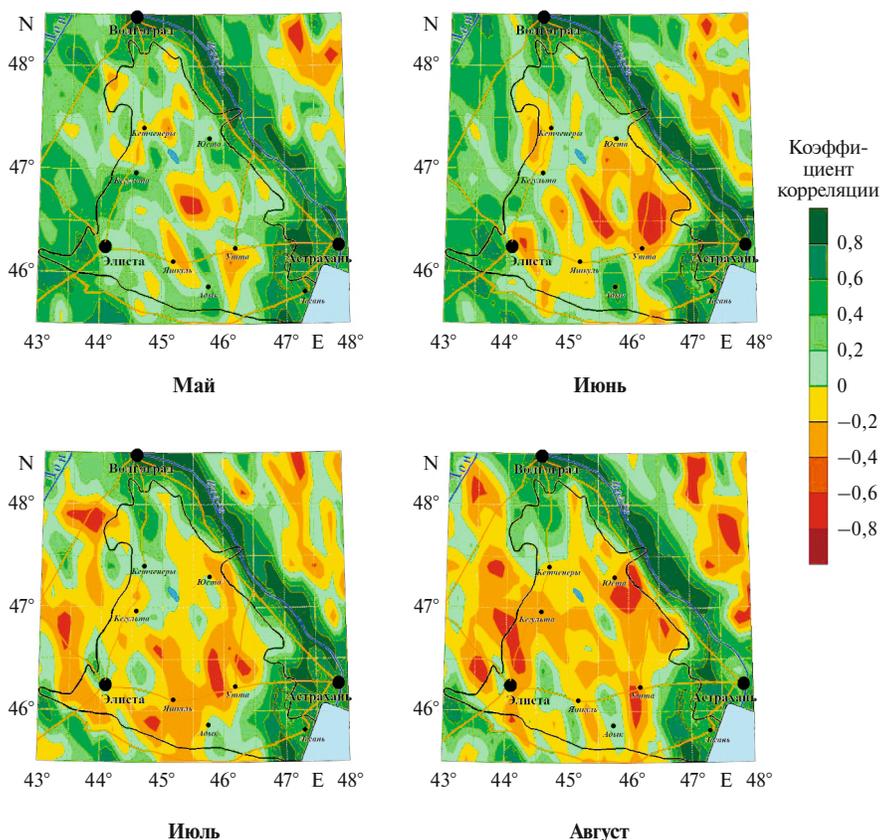
---

<sup>31</sup> Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге европейской России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 4 (85). С. 76–83.

<sup>32</sup> Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М.: Росгидромет, 2020. URL: <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimate-rrf-2019.pdf> (дата обращения 23.03.2022).

<sup>33</sup> Интенсивность засухи оценивалась по величине отрицательной корреляции между альбедо и температурой поверхности: от –0,2 до –0,3 — слабая засуха; от –0,4 до –0,5 — средняя засуха, меньше –0,6 — сильная засуха.

#### 4. Адаптация территорий к изменениям климата: факторы резилиентности природопользования, локальной экономики и расселения



**Рис. 9.** Распространение засухи (поля корреляции альбедо и температуры поверхности) в мае — августе 2020 г. в Республике Калмыкия

мата. К числу таких мер можно отнести: восстановление отгонно-пастбищной системы содержания животных; внедрение системы регулируемого выпаса скота; усовершенствование системы мониторинга пастбищ; обводнение пастбищ и орошение; повышение экологической грамотности населения.

Для Республики Тыва характерен другой профиль рисков и возможностей для адаптации. Географическая и транспортная от-

даленность Тывы, большой сектор угольной энергетики, загрязнение окружающей среды в населенных пунктах, деградация земель (в первую очередь, пастбищ) в результате неэффективных практик землепользования, нарушение земель при разработке полезных ископаемых, загрязнение водных источников техногенными отходами, использованием отработанных отвалов комбината «Тувакобальт», — все эти проблемы угрожают резилентности региональной экономики. Стратегическим вызовом является высокая углеродоемкость экономики и высокая доля угля в экспорте, который оказывается уязвимым в условиях декарбонизации мировой экономики.

Основные возможности перехода к низкоуглеродному развитию в Тыве связаны с преодолением доминирующей доли угля в энергодолге региона. В числе возможных решений — постепенное замещение устаревших угольных теплоэлектростанций более экономичными энергоблоками, объектами когенерации, снижение потерь топлива при его добыче, использовании и транспортировке, ускорение решений по газификации республики. Другой связанный приоритет включает вовлечение в хозяйственный оборот отходов от сжигания твердого топлива, в том числе применение золошлаков для рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых, площадь которых в Тыве выросла в 2011–2019 гг. с 3 тыс. до почти 6 тыс. га. В Республике Хакасия есть положительный опыт по использованию золошлаков в дорожном хозяйстве и производстве стройматериалов, при формировании промежуточного изолирующего слоя на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов. Использование отходов открывает возможности для развития циркулярной экономики, сокращения объемов полигонного захоронения, улучшения экологической ситуации в очагах повышенного промышленного воздействия на окружающую среду (районы с. Хову-Аксы, г. Ак-Довурак, г. Кызыл, пгт. Каа-Хем, г. Чадан, г. Шагонар). Интенсификация лесопользования связана с реализацией проекта по строительству деревоперерабатывающего комплекса с полным циклом (на базе тувинской компании «Верба»)<sup>34</sup> и уточнением информации о лесных ресурсах: проводится наземная верификация

---

<sup>34</sup> В Тыве началась работа над созданием лесоперерабатывающего комплекса // Продерево [Электронный ресурс]. 20.02.2021. URL: <https://proderevo.net/>

данных по лесничествам, на базе дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и натурных обследований расширяются мероприятия по лесовосстановлению.

Учитывая перспективное развитие горнодобывающей промышленности (Ак-Сугского, Кызыл-Таштыгского и Кара-Белдырского ГОКов), целесообразна разработка региональной межотраслевой государственной программы «Зеленый горнопромышленный комплекс» с акцентом на:

- 1) недопущение сверхнормативных потерь угля при его добыче и переработке, развитие технологий переработки и обогащения углей с целью получения высококачественных видов топлива с улучшенными экологическими характеристиками;
- 2) рекультивацию земель, нарушенных горными работами, с применением прогрессивных технологий складирования вскрышных и вмещающих пород в отвалы, пригодные для биологической рекультивации и методов восстановления плодородия нарушенных земель.

Следует стимулировать развитие региональной биоэкономики на основе трансформации существующего АПК региона в условиях масштабных агроклиматических изменений. Основные направления включают использование ресурсов биоразнообразия, развитие оздоровительного туризма и медицины, получение веществ и вытяжек из зерновых и продуктов животноводства (ветеринарные, микробиологические препараты, катализаторы разложения отходов). Необходимо выращивать и поощрять экологически ответственный малый инновационный бизнес, использующий методы санитарной очистки, рекультивации земель, защиты почв, прогрессивные цифровые агротехнологии. Шагом в этом направлении стала разработка в 2021 г. первой после 1982 г. зональной системы земледелия, включающей разделы по агроэкологии, системам обработки почвы, защиты растений и удобрений и т.д. Ее внедрение будет способствовать внедрению новых агротехнологий, повышению урожайности, адаптации земледелия к изменению климата, конкурентоспособности сельского хозяйства<sup>35</sup>.

---

news/corp/v-tuve-nachalas-rabota-nad-sozdaniem-lesopererabatyvayushchego-kompleksa.html (дата обращения 14.03.2022).

<sup>35</sup> В Туве спустя 39 лет разработана новая зональная система земледелия // Tuvaonline [Электронный ресурс]. 21.07.2021. URL: <https://www.tuvaonline>.

Интегрально стратегию перехода экономики Республики Тыва на траекторию низкоуглеродного развития можно описать как интенсивную «экологизацию цепочек создания ценности», включающую передовые методы управления природными ресурсами и снижение воздействия на окружающую среду. Ключевые условия успеха — это вложения в человеческий капитал; наращивание компетенций по применению современных подходов и технологий в горном деле, сельском и лесном хозяйстве; координация усилий правительства региона и бизнеса с вовлечением всех заинтересованных сторон в диалог о стратегии развития региона. Целесообразно на базе регионального Министерства лесного хозяйства и природопользования с привлечением специалистов Тувинского научного центра и Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения РАН создать отраслевой аналитический центр с задачами по анализу информации, касающейся низкоуглеродного развития; предусмотреть региональные меры стимулирования «зеленых проектов», а также разработать долгосрочную стратегию угольной отрасли региона с учетом технологических и эколого-социальных аспектов.

### **Выводы и рекомендации**

Многофакторность климатических изменений и многообразие их последствий для окружающей среды, отраслей экономики и качества жизни населения определяют необходимость разработки и осуществления системных и согласованных адаптационных мер с учетом региональной и отраслевой специфики<sup>36</sup>.

Климатическая и углеродная повестка в ближайшие несколько лет должна быть интегрирована в стратегии развития крупнейших российских компаний всех секторов экономики. Необходимо качественно расширить и скорректировать набор мероприятий по адаптации к изменениям климата в лесном (в том числе в части практик лесовосстановления) и аграрном секторах. Необходима

---

[ru/2021/07/21/v-tuve-spustya-39-let-razrabotana-novaya-zonalnaya-sistema-zemledeliya.html](https://ru/2021/07/21/v-tuve-spustya-39-let-razrabotana-novaya-zonalnaya-sistema-zemledeliya.html) (дата обращения 14.03.2022)

<sup>36</sup> Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы...

разработка национальных стандартов реализации природно-климатических проектов, гармонизированных с существующими и перспективными международными стандартами, применяемыми на мировых углеродных рынках. Необходимо дополнить номенклатуру реализуемых в России ПКП (в том числе в рамках таксономии зеленых проектов) проектами по добровольному сохранению лесов, обводнению водно-болотных угодий, сделать перечень типов проектов открытым в разрабатываемом Национальном реестре климатических проектов. Нужно снять нормативно-правовые ограничения на пути реализации природно-климатических проектов различных типов (ввести аренду для реализации лесоклиматических проектов как новый вид лесопользования, обеспечить право собственности инвестора на получаемые единицы сокращения выбросов, снять правовые барьеры для реализации ЛКП на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения и т.д.). Необходима последовательная политика поддержки различных практик низкоуглеродного сельского хозяйства (органическое, адаптивное, агроэкологическое и т.д.). Необходима интеграция в федеральные, региональные и городские системы стратегического планирования территориально дифференцированных оценок уязвимости для изменений климата, а также различных видов природно-климатических решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Россия обладает огромным потенциалом сокращения выбросов парниковых газов и увеличения поглощения углерода. Национальная цель углеродной нейтральности не позднее 2060 г. может быть достигнута экономически эффективным способом, причем большая часть мер декарбонизации экономики может быть реализована до 2050 г. Ключевыми отраслями, которые могут обеспечить глубокое снижение выбросов углерода, являются энергетика, нефтегазовая и угольная отрасли, металлургия, транспорт, химическая промышленность, а лесное хозяйство при внедрении современных климато-ориентированных практик может значительно повысить объемы депонирования углерода к 2050 г. Реализация потенциала в сфере повышения энергоэффективности, развития безуглеродной энергетики, производства зеленого водорода и биотоплива второго и третьего поколений, поэтапного замещения устаревших технологий на новые, экологически безопасные, позволит снизить суммарные издержки на переход к низкоуглеродной модели экономики до 1% ВВП в год, выполнить обязательства России по Парижскому соглашению, а также избежать необоснованных потерь от трансграничного углеродного регулирования и дивестиций из карбоноёмких активов. Наряду с достижением климатических целей, переход к низкоуглеродным энергетическим технологиям позволит повысить энергетическую безопасность и технологическую независимость, а также снизить негативные эффекты для здоровья и качества жизни граждан.

Реализация комплекса мер по сокращению выбросов парниковых газов в России по приоритетным направлениям включает:

- повышение энергоэффективности, развитие безуглеродной энергетики (ВИЭ, АЭС, ГЭС);
- применение технологий улавливания, хранения и использования углерода;
- радикальное снижение эмиссий метана в нефтегазовой и угольной промышленности;
- переход на безуглеродные виды транспорта (транспорт, использующий биотопливо, водород, электроэнергию, экологически чистый общественный транспорт);

- модернизацию и внедрение современных технологий в металлургии, химической, цементной промышленности;
- совершенствование методов ведения лесного и сельского хозяйства, внедрение в них климато-ориентированных технологий и практик, позволяющих предотвращать потери углерода в лесной биомассе и почвах, обеспечивать дополнительное депонирование углерода экосистемами.

Эти меры позволят снизить углеродный след в ключевых отраслях, в том числе экспортно ориентированных, которые сталкиваются со все более жестким углеродным регулированием и ценообразованием на углерод. Например, трансграничный механизм углеродного регулирования ЕС предусматривает введение платы за углеродный след импортируемой продукции, включая металлы, химические удобрения, аммиак, цемент, электроэнергию. Суммарный углеродный след российского экспорта превышает 2 млрд тонн  $\text{CO}_2$ , при этом большая его часть осуществляется в страны, где существует или планируется жесткое регулирование выбросов углерода, а также действуют инициативы по ценообразованию на углерод (например, ЕС, США, Канада, Япония, Китай, Южная Корея). В начале 2022 г. цена углеродных квот в ЕС превысила 90 евро/т  $\text{CO}_2$ .

В то время как большинство антропогенных источников парниковых газов учитываются при разработке сценариев, некоторые естественные источники их поступления в атмосферу остаются малоизученными. Пожалуй, наиболее существенные риски связаны с последствиями изменения климата в Арктической зоне. В МВА и Карском море содержится более 80% всей подводной мерзлоты на планете, а также запасы углеводородов планетарного масштаба, включая газовые гидраты. При этом из шельфа МВА в атмосферу поступает количество метана,кратно превышающее эмиссию метана из всего Мирового океана. Доказано смешанное (биогенное, термогенное, и, возможно, абиогенное) происхождение метана в МВА с увеличением фракции термогенного метана по направлению от берега к материковому склону. Необходимо дальнейшее комплексное исследование данного феномена. В рамках реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений (Указ Президента Российской Федерации от 8 февраля 2021 г. № 76) целесообразно создать *Национальный*

*центр изучения климатических и экологических последствий деградации мерзлоты*, в рамках деятельности которого исследовать и количественно оценить шельф МВА (и Карского моря) как источник метана в настоящем и ближайшем будущем. Важной задачей является разработка репрезентативных прогностических моделей, которые станут основой для принятия мер по адаптации к ожидаемым быстрым климатическим изменениям. Новые исследования обратных связей в арктической климатической системе могут привести к пересмотру углеродных бюджетов, принятых за основу расчетов допустимых национальных квот на выбросы CO<sub>2</sub>.

Прогнозы и сценарии также должны учитывать значительные региональные особенности не только в части сокращения выбросов парниковых газов, но и в части адаптации к неизбежным изменениям. Регионы и муниципалитеты России резко различаются по уязвимости к шокам и рискам, связанным с изменениями климата как таковыми и глобальной климатической политикой как реакцией на эти изменения. Эти различия определяются текущими природно-климатическими условиями, структурой региональных и локальных экономик, практиками природопользования. В будущем уязвимость населения к неблагоприятным климатическим условиям будет снижаться из-за оттока населения из северных и восточных регионов с неблагоприятными условиями проживания в южные и западные регионы, а также потепления климата. Однако будет в целом расти уязвимость населения, инфраструктуры и отраслей экономики к экстремальным природно-климатическим явлениям, а также к рискам потери конкурентоспособности компаний из-за последствий глобальной климатической политики. Для компенсации этих рисков можно использовать значительный потенциал ПКР, которым располагает Россия. ПКР играют ключевую роль в Стратегии низкоуглеродного развития РФ за счет более чем двукратного роста поглощения углерода лесами. Однако меры, предусмотренные в Плане адаптации к изменению климата в сфере природопользования, Стратегии развития лесного комплекса, Отраслевом плане адаптации АПК, недостаточны и в ряде случаев неэффективны. Реализация адекватных подходов к адаптации к изменениям климата, меняющим природные условия для сельского и лесного хозяйства, и к глобальной климатической политике, требующей перехода к низкоуглеродным практикам, обеспечит долгосрочную конкурентоспособность этих секторов

российской экономики. Выполнение природно-климатических проектов (лесоклиматических, агроклиматических и т.д.) при условии их соответствия международным стандартам позволит получить дополнительный доход на мировых углеродных рынках, будет способствовать декарбонизации российского бизнеса и повышению резилиентности локальных сообществ, экономик и ландшафтов.

Климатическая и углеродная повестка в ближайшие несколько лет должна быть интегрирована в стратегии развития крупнейших российских компаний всех секторов экономики.

Во-первых, необходимо качественно расширить и скорректировать набор мероприятий по адаптации к изменениям климата в лесном (в том числе в части практик лесовосстановления) и аграрном секторах.

Во-вторых, требуется разработка национальных стандартов реализации природно-климатических проектов, гармонизированных с существующими и перспективными международными стандартами, применяемыми на мировых углеродных рынках.

В-третьих, важно дополнить номенклатуру реализуемых в России ПКП (в том числе в рамках таксономии зеленых проектов) проектами по добровольному сохранению лесов, обводнению водно-болотных угодий, сделать перечень типов проектов открытым в разрабатываемом Национальном реестре климатических проектов.

В-четвертых, необходимо снять нормативно-правовые ограничения на пути реализации природно-климатических проектов различных типов (ввести аренду для реализации лесоклиматических проектов как новый вид лесопользования, обеспечить право собственности инвестора на получаемые единицы сокращения выбросов, снять правовые барьеры для реализации ЛКП на неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения и т.д.).

В-пятых, необходима последовательная политика поддержки различных практик низкоуглеродного сельского хозяйства (органическое, регенеративное и т.д.).

В-шестых, важно обеспечить интеграцию в федеральные, региональные и городские системы стратегического планирования территориально дифференцированных оценок уязвимости к изменениям климата, а также различных видов природно-климатических решений.

Экономический кризис, как любой кризис, является источником не только проблем, но и возможностей. Снижение экономической активности всегда означает снижение энергопотребления. При доминировании ископаемых энергоресурсов в энергобалансе это приводит к снижению выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ, которое наблюдалось и при финансово-экономическом кризисе 2008–2009 гг., и при пандемии COVID-19 в 2020–2021 гг. Кризис, не являясь желательным развитием событий, тем не менее подталкивает предприятия и граждан к переосмыслению принципов роста и переоценке используемых ресурсов. Долгосрочные прогнозы и стратегии развития должны предусматривать более устойчивый путь развития, который обеспечит сбалансированный экономический рост и развитие без непрерывного наращивания энергопотребления.

## ЛИТЕРАТУРА

- Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в редакции от 18 марта 2021 г.
- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 г.
- Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб.: Климатический центр Росгидромета, 2017.
- План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года».
- Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.
- Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы.
- Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 № 280-ФЗ.
- Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года.
- Башмаков И.А.* Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // Вопросы экономики. 2020. № 7. С. 51–74.
- Безруких П.П., Десярев В.В. и др.* Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям). М.: ИАЦ Энергия, 2007.
- Доклад о разрыве в уровне выбросов за 2021 г. / UNEP, UNEP DTU Partnership // ООН. Программа по окружающей среде [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unep.org/ru/resources/emissions-gap-report-2021>.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М.: Росгидромет, 2020.
- Затраты и выгоды низкоуглеродной экономики и трансформации общества в России. Перспективы до и после 2050 г. / под ред. И.А. Башмакова. М.: ЦЭНЭФ, 2009.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В.* Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге европейской России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 4 (85). С. 76–83.

- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Виноградова В.В.* Динамика летнего увлажнения и биофизических параметров аридных пастбищ Европейской части России в 2000–2014 гг. // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 1 (66). С. 5–10.
- Национальный органический союз. Перечень российских сертифицированных производителей органической продукции. 2022.
- Россия будет добиваться углеродной нейтральности к 2060 г. // ООН [Электронный ресурс]. 2021. 14 октября. URL: <https://news.un.org/ru/story/2021/10/1411842>.
- Сулин А., Дайман С., Белоглазова О.* Углеродные единицы: динамика и потенциал // ЕУ [Электронный ресурс]. 27 янв. 2022. URL: [https://www.eu.com/ru\\_ru/climate-change-sustainability-services/carbon-offsets-dynamics-and-prospects-2022](https://www.eu.com/ru_ru/climate-change-sustainability-services/carbon-offsets-dynamics-and-prospects-2022).
- Barnard P.E., Moomaw W.R., Fioramonti L. et al.* World Scientists' Warnings Into Action, Local to Global // Science Progress. 2021. Vol. 104. Nr. 4. P. 1–32.
- Bianco V., Proskuryakova L., Starodubtseva A.* Energy inequality in the Eurasian Economic Union // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 146. Art. 111155.
- Clean Development Mechanism (CDM). URL: <https://cdm.unfccc.int/>.
- Clean Energy Technology Guide // IEA [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide>.
- Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds). Core Writing Team. Geneva: IPCC, 2014.
- Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. The Working Group II contribution to the IPCC Sixth Assessment Report. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- Cost of Arctic methane release could be “size of global economy” warn experts // University of Cambridge. 2013. 24 July.
- Depp decarbonization pathways, 2014 Report. Paris: IDDRI-SDSN.
- Depp decarbonization pathways, 2015 Synthesis Report. Paris: IDDRI-SDSN.
- Energy efficiency in Russia: Untapped reserves / International Finance Corporation, World Bank // World Bank Group [Электронный ресурс]. October 2008. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20675>.
- Energy Technology Perspectives 2020 // IEA [Электронный ресурс]. September 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.
- EU Science Hub. POLES // European Commission [Электронный ресурс]. URL: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/poles\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/poles_en).

- FiBL. Data on organic agriculture in the World in 2000–2020 // The Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Frick, Switzerland. 2022.
- Giraud T., Commenges H.* Potential: Implementation of the Potential Model. R package version 0.1.0. 2020. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=potential>.
- Global Energy Forecasts: EnerFuture // Enerdata [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enerdata.net/research/forecast-enerfuture.html>.
- Global Warming of 1.5 °C. Special Report // IPCC [Электронный ресурс]. 2018.
- Gnatus N.A. et al.* Petrothermal energy and geophysics // Moscow University Geology Bulletin. 2011. Nr. 66. P. 151–157.
- Gracheva R.G., Sheludkov A.V.* Diffusion of organic agriculture in Russia: Features and implications for rural development // Regional Research of Russia. 2021. Vol. 11. Nr. 4. P. 578–588.
- Hoberg J., Ascui F.* Arctic: Warming impact is uneven // Nature. 2013. Aug 29. Nr. 500. Art. 529.
- Hope C., Schaefer K.* Economic impacts of carbon dioxide and methane released from thawing permafrost // Nature Climate Change. 2015. Nr. 6 (1).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): The Scientific Basis. N.Y.: Cambridge University Press, 2007.
- Levelized Cost of Energy // Lazard [Электронный ресурс]. Окт. 28, 2021. URL: <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>.
- Lysenkow A.* Country Report Organic. Russia. 2020. Dresden, 2020.
- Markantoni M.* Low Carbon Governance Mobilizing Community Energy through Top-Down Support? // Environmental Policy and Governance. 2016. Vol. 26. Iss. 3. P. 155–169.
- Martens J., Romankevich E., Semiletov I., Wild B., van Dongen B., Vonk J., Tesi T., Shakhova N., Dudarev O.V., Kosmach D., Vetrov A., Lobkovsky L., Belyaev N., Macdonald R.W., Pieńkowski A.J., Eglinton T.I., Hahipour N., Dahle S., Carroll M.L., Åström E.K.L., Grebmeier J.M., Cooper L.W., Posner G., Gustafsson Ö.* CASCADE — The Circum-Arctic Sediment Carbon DatabasE // Earth System Science Data. 2021. Nr. 13. P. 2561–2572.
- Miller S.M., Wofsy S.C., Michalak A.M., Kort E.A., Andrews A.E., Biraud S.C., Dlugokencky E.J., Eluszkiewicz J., Fischer M.L., Janssens-Maenhout G., Miller B.R., Miller J.B., Montzka S.A., Nehr Korn T., Sweeney C.* Anthropogenic emissions of methane in the United States // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013. Nr. 110. P. 20018–20022.
- O’Sullivan K., Golubchikov O., Mehmood A.* Uneven energy transitions: Understanding continued energy peripheralization in rural communities // Energy Policy. 2020. Vol. 138. Art. 111288.

- Pahle M., Schaeffer R., Pachauri Sh. et al.* The crucial role of complementarity, transparency and adaptability for designing energy policies for sustainable development // *Energy Policy*. Vol. 159. December, 2021. Art. 112662.
- Pathways to an energy and carbon efficient Russia. McKinsey&Company, 2009. URL: [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client\\_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/CO2\\_Russia\\_ENG\\_final.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/client_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/CO2_Russia_ENG_final.ashx).
- Proskuryakova L., Ermolenko G.* Decarbonization Prospects in the Commonwealth of Independent States // *Energies* 2022. Nr. 15 (6). Art. 1987.
- Proskuryakova L., Ermolenko G.* The future of Russia's renewable energy sector: Trends, scenarios and policies // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 143. P. 1670–1686.
- Proskuryakova L., Kzyngasheva E., Starodubtseva A.* Russian electric power industry under pressure: Post-COVID scenarios and policy implications // *Smart Energy*. 2021. Vol. 3. Art. 100025.
- ReMap 2030. Renewable Energy Prospects for the Russian Federation // IRENA Working Paper. April 2017.
- Rotz C.A., Corson M.S., Chianese D.S., Montes F., Hafner S.D., Bonifacio H.F., Coiner C.U.* The Integrated Farm System Model: Reference Manual/Version 4.4. Washington, DC: US Dep. Agric., 2018.
- Safonov G., Potashnikov V., Lugovoy O., Safonov M., Dorina A., Bolotov A.* The low carbon development options for Russia // *Climatic Change*. 2020. Nr. 162. P. 1929–1945.
- Schaeffer R., Köberle A., van Soest H.L. et al.* Comparing transformation pathways across major economies // *Climatic Change*. 2020. Nr. 162. P. 1787–1803.
- Semiletov I.* On aquatic sources and sinks of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Polar Regions // *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1999. Nr. 56. P. 286–306.
- Semiletov I., Gustafsson Ö.* East Siberian Shelf Study Alleviates Scarcity of Observations // *Eos, Transactions, AGU*. 2009. Vol. 90. Nr. 17. 28 April. P. 145–146.
- Shakhova N., Alexeev V., Semiletov I.* Accessing future increase in methane emission over the East-Siberian Shelf // *Transactions of Russian Academy of Sciences*. 2010. Vol. 430 (1).
- Shakhova N., Semiletov I.* Methane Hydrate Feedbacks // M. Sommerkorn, S.J. Hassol (eds). *Arctic Climate Feedbacks: Global Implications*. Published by WWF International Arctic Programme. August 2009. P. 81–92.
- Shakhova N., Semiletov I.* Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf // *Journal of Marine Systems*. 2007. Nr. 66 (1–4). P. 227–243.
- Shakhova N., Semiletov I.* Trace gas emissions from sub-sea permafrost // *Climate Change and the Cryosphere: Snow, Water, Ice and Permafrost in the*

- Arctic (SWIPA): An Arctic Council “Cryosphere Project” in Cooperation with IASC, CliC and IPY, AMAP. Oslo, Norway, 2012. P. 97–104.
- Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // *Geosciences*. 2019. Nr. 9. Art. 251.
- Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Communications*. 2017. Nr. 8. Art. 15872.
- Shakhova N., Semiletov I., Leifer I. et al.* Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // *Nature Geosciences*. Vol. 7. 2014. Nr. 1.
- Shakhova N., Semiletov I., Leifer I. et al.* Geochemical and geophysical evidence of methane release from the inner East Siberian Shelf // *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. August 2010. Nr. 115.
- Shakhova N., Semiletov I., Pantelev G.* The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle // *Geophysical Research Letters*. 2005. Nr. 32. Art. L09601.
- Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A. et al.* Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science*. 2010. Nr. 327. P. 1246–1250.
- Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V. et al.* The East Siberian Arctic Shelf: Towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2015. 373: 20140451.
- Sixth Assessment Report. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* // IPCC [Электронный ресурс]. 2021.
- Steinbach J., Holmstrand H., Scherbakova K. et al.* Source Apportionment of Methane Escaping the Subsea Permafrost System in the Outer Eurasian Arctic Shelf // *Proceedings National Academy of Sciences USA (PNAS)*. 2021. Nr. 118 (10). Art. e2019672118.
- Stern N. et al.* The Economics of Climate Change: The Stern Review // LSE. 30 October, 2006. URL: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/publication/the-economics-of-climate-change-the-stern-review/>.
- The national GHG inventory submission to the UNFCCC by the Russian Federation. 2021.
- The Nationally Determined Contribution of the Russian Federation as part of the implementation of the Paris Agreement of December 12, 2015. 2020. URL: [https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Russian%20Federation%20First/NDC\\_RF\\_eng.pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Russian%20Federation%20First/NDC_RF_eng.pdf).
- The polar regions in a 2 °C warmer world / E. Post, R.B. Alley, T.R. Christensen, M. Macias-Fauria, B.C. Forbes, M.N. Gooseff, A. Iler, J.T. Kerby,

- K.L. Laidre, M.E. Mann, J. Olofsson, J.C. Stroeve, F. Ulmer, R.A. Virginia, M. Wang // *Science Advances*. 2019. Nr. 5 (12).
- The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2022 // H. Willer, J. Travníček, C. Meier, B. Schlatter (eds). Research Institute of Organic Agriculture FiBL, Frick, and IFOAM. Bonn: Organics International, 2022.
- Tirado-Herrero S., Fuller S.* De-centering transitions: Low-carbon innovation from the peripheries // *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2021. Vol. 41. P. 113–115.
- Waisman H., Bataille Ch., Trollip H. et al.* A pathway design framework for national low greenhouse gas emission development strategies // *Nature Climate Change*. 2019. Nr. 9. P. 261–268.
- Whiteman G., Hope C., Wadhams P.* Climate science: Vast costs of Arctic change // *Nature*. 2013. Nr. 499. P. 401–403.
- World Energy Outlook 2021. URL: [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2021\\_5880a2eb-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/world-energy-outlook-2021_5880a2eb-en).

## **АВТОРЫ ДОКЛАДА**

### **Виноградова Вера Владимировна**

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник  
Лаборатории климатологии Института географии РАН

### **Глезер Ольга Борисовна**

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник  
отдела социально-экономической географии Института гео-  
графии РАН

### **Грачева Раиса Габдрахмановна**

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник  
отдела географии и эволюции почв Института географии РАН

### **Дорина Александра Леонидовна**

Научный сотрудник, эксперт Центра экономики окружающей  
среды и природных ресурсов НИУ ВШЭ

### **Золотокрылин Александр Николаевич**

Доктор географических наук, главный научный сотрудник Ла-  
боратории климатологии Института географии РАН

### **Котов Александр Владимирович**

Кандидат экономических наук, доцент факультета географии  
и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ, старший науч-  
ный сотрудник отдела территориальных систем Института эко-  
номики и организации промышленного производства СО РАН

### **Куричев Николай Константинович**

Кандидат географических наук, декан, доцент факультета гео-  
графии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ

### **Моргунов Борис Алексеевич**

Доктор географических наук, директор Института экологии  
НИУ ВШЭ, профессор

**Поташников Владимир Юрьевич**

Старший научный сотрудник Центра экономического моделирования энергетики и экологии Института прикладных экономических исследований РАНХиГС

**Проскуракова Лилиана Николаевна**

Кандидат политических наук, заместитель заведующего Лабораторией исследований науки и технологий Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ

**Птичников Андрей Владимирович**

Кандидат географических наук, доцент факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ, заместитель руководителя Центра ответственного природопользования Института географии РАН

**Сафонов Георгий Владимирович**

Кандидат экономических наук, директор Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов НИУ ВШЭ, доцент факультета мировой экономики и мировой политики НИУ ВШЭ

**Сафонова Юлия Артуровна**

Научный сотрудник, эксперт Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов НИУ ВШЭ

**Семакина Анастасия Алексеевна**

Аспирант факультета экономических наук НИУ ВШЭ

**Семилетов Игорь Петрович**

Доктор географических наук, член-корреспондент РАН, научный руководитель Института экологии НИУ ВШЭ, заведующий Лабораторией арктических исследований Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН

**Сизонов Антон Геннадьевич**

Аспирант факультета мировой экономики и мировой политики НИУ ВШЭ

**Стеценко Андрей Владимирович**

Кандидат экономических наук, заместитель директора по административной работе Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов НИУ ВШЭ

**Титкова Татьяна Борисовна**

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник Лаборатории климатологии Института географии РАН

**Шахова Наталья Евгеньевна**

Доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института экологии НИУ ВШЭ, главный научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН

**Шелудков Александр Владимирович**

Кандидат географических наук, доцент факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ, научный сотрудник отдела социально-экономической географии Института географии РАН

*Научное издание*

**Воздействие изменения климата  
на человеческий потенциал, экономику и экосистемы**

Доклад НИУ ВШЭ

Гарнитура Newton. Формат 60×88 1/16  
Усл. печ. л. 4,6. Уч.-изд. л. 4,1. Изд. № 2624

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20  
Тел.: +7 495 772-95-90 доб. 15285



При поддержке Фонда целевого капитала НИУ ВШЭ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ  
РАДИОПАРТНЕР



ГЛАВНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



Российская Газета



ПОЛИТ.РУ



журнал  
стратегия

ЭКОНОМИКА  
и ЖИЗНЬ



InScience.News

