XXII
АПРЕЛЬСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ПРОБЛЕМАМ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ И ОБЩЕСТВА
2021

Центр междисциплинарных исследований человеческого потенциала

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ: ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И РЕЗИЛИЕНТНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ

Доклад НИУ ВШЭ

Москва, 2021

К XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества

13–30 апреля 2021 г.

ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ: ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И РЕЗИЛИЕНТНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ

Доклад НИУ ВШЭ

Издательский дом
Высшей школы экономики
Москва, 2021

УДК 551.58:504.7
ББК 26.237
У81

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

Под редакцией *Л.Н. Проскуряковой*

Авторы:

В.В. Виноградова, Р.Г. Грачева, А.Л. Дорина, А.В. Котов, Н.К. Куричев, Б.А. Моргунов, В.Ю. Поташников, Л.Н. Проскурякова, А.В. Птичников, Г.В. Сафонов, Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, И.П. Семилетов, А.Г. Сизонов, А.В. Стеценко, И.Д. Фролов, Е.А. Черенкова, Н.Е. Шахова

У81 **Устойчивое развитие в период пандемии:** природные ресурсы, изменение климата и резилиентность территорий [Текст] : докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / Л. Н. Проскурякова (ред.), В. В. Виноградова, Р. Г. Грачева и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — 76 с. — ISBN 978-5-7598-2508-1 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2268-4 (e-book).

В докладе, подготовленном в рамках направления исследований «Природно-климатические детерминанты устойчивого развития» Научного центра мирового уровня «Центр междисциплинарных исследований человеческого потенциала», представлены тенденции и факторы развития различных элементов природно-ресурсных и климатических систем, описана их взаимосвязь с человеческим потенциалом. Рассматривается использование интегрированного подхода к анализу и прогнозированию рисков, связанных с изменением климата и экосистем, а также потенциальных эффектов для человека и общества. В Заключении представлены рекомендации по международному сотрудничеству, мерам внутренней политики, вовлечению заинтересованных сторон и развитию исследований и разработок для решения обозначенных в докладе проблем.

УДК 551.58:504.7
ББК 26.237

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

ISBN 978-5-7598-2508-1 (в обл.)
ISBN 978-5-7598-2268-4 (e-book)

© Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Резюме 4

Введение 7

1. Тенденции интегрированного развития природно-климатических систем и человеческого потенциала (*Л.Н. Проскурякова*) 10

2. Управление территориальной резилиентностью в условиях глобальных климатических изменений (*Н.К. Куричев, А.В. Птичников, А.В. Котов, В.В. Виноградова, Р.Г. Грачева, Е.А. Черенкова*) 25

3. Сценарные прогнозы взаимодействия социально-экономической, природной и климатической систем в России до 2050 г. (*Г.В. Сафонов, А.В. Стеценко, В.Ю. Поташников, А.Л. Дорина, Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, А.Г. Сизонов, И.Д. Фролов*)..... 44

4. Газовые гидраты: роль в устойчивом развитии и климатической трансформации Арктики (*И.П. Семилетов, Н.Е. Шахова, Б.А. Моргунов*) 57

Заключение..... 70

Авторы доклада 73

РЕЗЮМЕ

В докладе представлены тенденции и факторы развития различных элементов природно-ресурсных и климатических систем, описана их взаимосвязь с человеческим потенциалом. Рассматривается использование интегрированного подхода к анализу и прогнозированию рисков, связанных с изменением климата и экосистем, а также потенциальных эффектов для человека и общества.

В первом разделе проанализированы тенденции интегрированного развития природно-климатических систем и человеческого потенциала, представлен список тенденций в социальной, технологической, экономической, экологической и культурной (ценностной) сферах. Среди ключевых тенденций в рассматриваемой межпредметной области — изменение климата и рост антропогенной нагрузки на окружающую среду, что влечет за собой сокращение биоразнообразия и деградацию экосистем, повышение вероятности возникновения опасных природных явлений и экологических катастроф, оказывающих существенное влияние на экономическое и социальное развитие отдельных стран, регионов и мира в целом. Ускоряется процесс истощения природных минерально-сырьевых, водных, земельных, лесных и прочих ресурсов.

Глобальные климатические изменения воспринимаются на локальном уровне в основном через отдельные шоки. Риски, связанные с глобальным изменением климата и глобальной климатической политикой, ставят в центр внимания вопрос *территориальной резилиентности*. Она включает не только способность территорий восстанавливаться после шоков различного генезиса, но и адаптироваться к стрессам, обновляться и трансформироваться. Проблемы управления территориальной резилиентностью в условиях глобальных изменений рассматриваются во втором разделе на примере реализации лесоклиматических проектов и проблем устойчивого лесопользования. В условиях развития мировой климатической повестки и постепенного формирования механизмов платы за выбросы парниковых газов естественным преимуществом России является большой потенциал поглощения CO_2 природными системами на ее огромной территории, включая как леса, так и заброшенные сельскохозяйственные земли, в

том числе заросшие лесом. В то же время использование этого потенциала требует учета специфических местных условий, поэтому успешные проекты в сфере территориальной резилиентности могут вырастать только «снизу» на основе аккумуляции местных инициатив и ресурсов. Критическим ограничением часто становится человеческий потенциал — знания и навыки местного сообщества, его способность к самоорганизации.

В третьем разделе представлены расчеты динамики выбросов парниковых газов (ПГ) от ключевых отраслей экономики России, включая энергетические выбросы ПГ (при помощи модели TIMES) и поглощение CO_2 лесами (по модели CBS-CFS3). Результаты анализа показали, что цель по ограничению выбросов ПГ на 2030 г. будет выполнена при всех сценариях, никаких рисков несоблюдения обязательства по «национальному вкладу» в выполнение Парижского соглашения до 2030 г. Россия не несет. В то же время в перспективе до 2050 г. прогнозы показывают различные целевые значения выбросов ПГ. Согласно прогнозам Минэкономразвития России, сокращения выбросов ПГ от текущего уровня не ожидается, а в некоторых сценариях возможен существенный рост выбросов ПГ к середине столетия. Модельные расчеты, напротив, демонстрируют большой потенциал по сокращению выбросов ПГ вплоть до 85% ниже уровня 1990 г.

В четвертом разделе представлены ключевые факторы интегрированного развития арктической природно-климатической системы «*подводная мерзлота — газовые гидраты*» в условиях современного потепления в контексте разработки критериев для устойчивого развития Арктической зоны Российской Федерации. Обосновывается необходимость организации системы мониторинга и управления рисками неконтролируемого природного выделения в атмосферу парниковых газов, источником которых являются шельфовые газовые гидраты и другие геологические резервуары (пулы) метана, а также количественная оценка их массированных выбросов. Предложения основаны на полученных в октябре-ноябре 2020 г. новых результатах исследований, которые позволили расширить существующую базу комплексных биогеохимических, геофизических и геологических данных с целью оценки вклада эмиссии метана в атмосферу в результате дестабилизации газовых гидратов и уточнения роли прогрессирующей

деградации подводной мерзлоты в масштабах эмиссии метана из донных отложений арктических морей России.

В конце каждого раздела представлены рекомендации по международному сотрудничеству, мерам внутренней политики, вовлечению заинтересованных сторон и развитию исследований и разработок для решения обозначенных в докладе проблем. Эти рекомендации обобщены в заключении доклада.

ВВЕДЕНИЕ

Россия присоединилась к Парижскому климатическому соглашению ООН в 2019 г. и взяла на себя обязательства по предотвращению роста глобальной температуры на 1,5–2° С, а также значительному сокращению выбросов парниковых газов (ПГ) к середине XXI в. На 2030 г. установлена национальная цель — сократить выбросы ПГ до 70% относительно уровня 1990 г. Разрабатываемая Минэкономразвития России Стратегия социально-экономического развития с низким уровнем выбросов ПГ до 2050 г. предусматривает ряд сценариев, связанных с осуществлением мер климатической политики, включая низкоуглеродное развитие энергетики, промышленности, транспорта и других отраслей.

В условиях развития мировой климатической повестки и постепенного формирования механизмов платы за выбросы парниковых газов естественным преимуществом России является большой потенциал поглощения CO_2 природными системами на ее огромной территории, включая как леса, так и заброшенные сельскохозяйственные земли, в том числе заросшие лесом.

Одна из наиболее актуальных задач для определения целей сокращения выбросов и увеличения поглощения ПГ в России — проведение экономико-математического моделирования и комплексной оценки влияния различных сценариев низкоуглеродного развития на финансово-экономические, социальные, технологические и экологические показатели на перспективу до 2050 г. и далее. Также важной задачей является прогноз нетто-поглощения CO_2 лесными экосистемами, компенсирующими более 25% антропогенных выбросов ПГ в стране.

В последнее время интерес к экосистемной функции лесов по депонированию углерода возрос и на государственном, и на корпоративном уровне. Интерес компаний связан в первую очередь с ожидаемым введением Евросоюзом с 2023 г. трансграничного углеродного налога, что для российских экспортеров приведет к крупным финансовым потерям (3–5 млрд долл. в год) а также с развитием рынка «зеленых» металлов, цемента и другой массовой продукции, требующих доказательств низкого углеродного следа при ее производстве. Многие компании нефтегазового сектора,

металлургии, химической промышленности, не имея возможности существенно понизить углеродный след за счет традиционных программ снижения выбросов парниковых газов и повышения энергоэффективности, рассматривают возможность использования одного из самых низкозатратных способов — приобретения единиц сокращения выбросов (ЕСВ), накопленных в лесоклиматических проектах.

В мире было реализовано и сертифицировано свыше 260 лесоклиматических проектов, из которых в России — всего три, несмотря на большой природный потенциал. В перспективе в России могут быть реализованы проекты трех типов: в рамках добровольного сохранения лесов арендаторами, устойчивого лесопользования и программ защитного лесоразведения и облесения. Некоторые лесопромышленные компании уже начали внедрять элементы климатически ориентированного лесного хозяйства в практику управления лесами, в том числе диверсифицируя лесообеспечение за счет роста доли лиственных пород, развивая производство целлюлозы, биоэнергетического сырья (пеллет) из них.

Устойчивое лесопользование требует учета различных факторов *резилиентности ландшафтов*, включая вопросы планирования многоцелевого лесопользования, изменение стратегии лесовосстановления в сторону лиственных пород, лучшего сохранения биоразнообразия, противодействие проникновению инвазивных видов, деградации земель и т.д. Уход от неустойчивых практик природопользования невозможен без решения социально-экономических проблем территорий и активного взаимодействия компаний с местными сообществами. Экономические модели лесо- и агроклиматических проектов должны ориентироваться не только на задачи инвесторов в лице крупных компаний по получению зачетных единиц поглощения парниковых газов, но и на вклад в занятость и доходы населения на территориях реализации проектов.

Сегодня ученые пришли к новому пониманию климатической и экологической роли прогрессирующей *деградации подводной мерзлоты и дестабилизации гидратов* — массированной эмиссии метана в водную толщу-атмосферу в контексте влияния на развитие человеческого потенциала. Процессы неконтролируемого природного выделения в атмосферу парниковых газов, источником которых являются шельфовые газовые гидраты и другие гео-

логические резервуары (пулы) метана, требуют разработки системы мониторинга и управления. Необходим междисциплинарный подход, включающий гидрофизические, биогеохимические, геофизические и геологические методы, принятые в мировой практике, а также новые методы, предлагаемые коллективом ученых в четвертом разделе настоящего доклада и внедренные в международную морскую практику. Расширенный банк данных о состоянии подводной мерзлоты и выявленных местах массированной разгрузки метана вследствие дестабилизации гидратов может быть использован для выявления механизма формирования предельно допустимого объема планетарного атмосферного метана над Арктикой, что является одним из современных мировых вызовов в области естественных наук.

1. ТЕНДЕНЦИИ ИНТЕГРИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Л.Н. Проскурякова

В последние годы влияние экологических и природных факторов на социально-экономическое развитие возросло многократно. Изменение климата и рост антропогенной нагрузки на окружающую среду влекут за собой сокращение биоразнообразия и деградацию экосистем, повышение вероятности возникновения опасных природных явлений и экологических катастроф, оказывающих существенное влияние на отдельные страны, регионы и мир в целом. Ускоряется процесс истощения природных минерально-сырьевых, водных, земельных, лесных и прочих ресурсов. Экстремальные природные явления распространяются на территории, где ранее они не наблюдались, что приводит к значительному увеличению потоков климатических мигрантов. Ожидается, что изменение климатических условий при ускоренном росте населения Земли приведет к снижению агроклиматического потенциала планеты, проблемам в развитии сельского хозяйства и обеспечении продовольствием. Комплексный и непредсказуемый характер климатических изменений требует перехода к устойчивому развитию и низкоуглеродной экономике, что потребует новых технологических решений и реализации существенных изменений в структуре экономики.

В течение длительного периода, предшествующего достижению современного уровня научно-технического прогресса, использование природной среды осуществлялось экстенсивно, что означало наращивание объема и видов получаемых ресурсов. При этом ограничений на деятельность человека практически не существовало, за исключением его собственных производительных сил. К середине XX в. такой подход к окружающей среде начал достигать критических значений по целому ряду направлений[1].

---

[1] *Sachs J., Warner A.* Fundamental Sources of Long Run Growth // American Economic Review Papers and Proceedings. 1997. Vol. 87. No. 2. P. 184–188.

При сохранении масштабов и динамики потребления ископаемых энергоресурсов и других видов сырья и материалов в среднесрочной перспективе можно прогнозировать их исчерпание.

Можно сказать, что человечество и природная среда представляют собой единую систему «общество — окружающая среда», субъекты которой постоянно взаимодействуют между собой. В социально-экономической подсистеме этой системы можно проследить влияние научно-технического прогресса на экономическое развитие и размещение производительных сил с учетом социально-демографических, природно-ресурсных и природно-климатических факторов. Социально-экономическая подсистема оказывает влияние на природно-ресурсную и природно-климатическую подсистемы: происходит воздействие производительных сил на различные виды природных ресурсов и климат (рис. 1).

Рис. 1. Единая система «общество — окружающая среда»

Взаимосвязь между наличием природных ресурсов и уровнем человеческого капитала может рассматриваться через призму экономического роста. В качестве основного фактора экономического роста выделяют наличие и высокий уровень человеческого капитала: инвестиции в человеческий капитал характеризуются

постоянной или растущей[2] отдачей, в то время как инвестиции в физический капитал — убывающей отдачей.

Наличие значительных объемов природных ресурсов, добыча которых составляет более 10% ВВП и 40% экспорта страны, с точки зрения сторонников ресурсо-ориентированного экономического роста (*Resource Based Growth*) является благом и основным фактором развития при условии их рационального использования[3]. В связи с особенностями ценообразования на природные ресурсы ресурсо-ориентированные экономики в значительной степени зависят от конъюнктуры на мировых рынках.

Однако изобилие природных ресурсов не гарантирует экономического роста и может привести к длительной и чрезмерной зависимости от добывающих отраслей — «проклятию природных ресурсов» (*resource curse*)[4]. При межстрановом сопоставлении наблюдается отрицательная корреляция между темпами экономического роста и долей природных ресурсов в экспорте стран[5]: снижение доли ресурсов в экспорте на 10 п.п. обеспечивает повышение темпов роста на 1 п.п. в год[6]. К негативным эффектам «проклятия природных ресурсов» относят недостаточный объем инвестиций домашних хозяйств в человеческий капитал, что происходит в первую очередь из-за низкого спроса на квалифицированную рабочую силу[7].

Характерный для ресурсозависимых стран высокий уровень дифференциации общества по доходам также оказывает негатив-

---

[2] *Barro R.J., Lee J.-W.* International Data on Educational Attainment: Updates and Implications // Oxford Economic Papers. 2001. Vol. 53. No. 3. P. 541–563.

[3] *Wright G., Czelusta J.* Resource-based Economic Growth, Past and Present. Stanford University, 2002.

[4] *Auty R.* Resource Abundance and Economic Development. Oxford: OUP, 2001.

[5] *Sala-i-Martin X.* I Just Ran Two Million Regressions // American Economic Review Papers and Proceedings. 1997. Vol. 87. No 1. P. 178–183.

[6] *Sachs J., Warner A.* Natural Resource Abundance and Economic Growth // NBER Working Paper No. W5398. December 1995; *Sachs J., Warner A.* Fundamental Sources of Long Run Growth // American Economic Review. 1997. Vol. 87. No. 2. P. 184–188; *Papyrakis E., Gerlagh R.* Resource Abundance and Economic Growth in the U.S. // European Economic Review. 2007. Vol. 51. P. 1011–1039.

[7] *Birdsail N., Pinckney T., Sabot R.* Natural Resources, Human Capital, and Growth // Resource Abundance and Economic Growth / R.M. Auty (ed.). Oxford: Oxford University Press, 2001. P. 57–75.

ное влияние на развитие человеческого капитала, так как граждане с низким доходом не имеют возможности инвестировать в образование и здоровье[8]. Однако наличие больших запасов ископаемых энергоресурсов может привести к улучшению качества жизни (снижению младенческой смертности и увеличению продолжительности жизни) в странах с монархической формой правления, в которых все природные ресурсы сосредоточены в руках правящей элиты[9].

Волатильность рентных доходов может стать причиной отсутствия стимулов к инвестициям в человеческий капитал со стороны государства[10]. Политические лидеры оценивают текущие доходы от ренты намного выше доходов будущих периодов и поэтому максимизируют доходы в краткосрочном периоде. Инвестиции в человеческий капитал, напротив, дают заметные эффекты только в долгосрочном периоде. При их наличии хорошо развитые политические и экономические институты могут выступать гарантом смягчения последствий нестабильности доходов от экспорта природных ресурсов[11]. В условиях благоприятной мировой конъюнктуры сверхдоходы от продажи ресурсов приводят к увеличению расходов государства на социальный сектор и к большей стабильности в государствах как с демократической системой управления, так и с недемократической[12].

---

[8] *Gylfason T.* Development and Growth in Mineral-Rich Countries // CEPR Discussion Paper No. 7031. 2008; *Wang M.H., Sun G.N., Kang G.D.* A Spatial Dislocation Analysis of Natural Capital, Human Capital and Economic Capital in the Mainland China // Stud. Sci. Sci. 2009. No. 16. P. 179–204; *Douangngeune B., Hayami Y., Godo Y.* Education and Natural Resources in Economic Development: Thailand Compared with Japan and Korea // J. Asian Econ. 2005. No. 16. P. 179–204.

[9] *Cotet A., Tsui K.* Oil, Growth, and Health: What Does the Cross-Country Evidence Really Show? // Scand. J. Econ. 2013. Vol. 115. P. 1107–1137.

[10] *Auty R.M., Gelb A.H.* Political Economy of Resource Abundant States. Paper prepared for the Annual Bank Conference on Development Economics. Paris, June 2000.

[11] *El-Anshasy A., Mohaddes K., Nugent J.B.* Oil, Volatility and Institutions: CrossCountry Evidence from Major Oil Producers. Globalization and Monetary Policy Institute, 2017.

[12] *Morrison K.* Oil Non-Tax Revenue, and the Redistributional Foundations of Regime Stability // Int. Organ. 2009. Vol. 63. P. 107–138.

Сам факт наличия природных ресурсов, однако, не означает, что страна подвержена «проклятию природных ресурсов»[13]. Это зависит от структуры экономики. Исследования однозначно доказывают факт быстрого развития стран в условиях наличия ресурсного изобилия, но с одним допущением: экономический рост возможен только в тех странах, в которых хорошо развиты и эффективно работают политические и экономические институты: права собственности граждан защищены, судебная система эффективна, государство подотчетно обществу. Экономический рост в государстве, при прочих равных условиях, влечет за собой развитие человеческого капитала.

Определение тенденций и их взаимосвязей

Информационной базой для представленных ниже тенденций и факторов интегрированного развития природно-климатических систем и человеческого потенциала послужил широкий спектр информационных источников. Эти источники, включая научные статьи, патенты, заявки на научные гранты, стратегические документы федерального, регионального и корпоративного уровня, доклады международных организаций, аналитические отчеты и отраслевые медиаресурсы, были рассмотрены с использованием системы анализа больших данных iFORA.

Среди основных тем, рассматриваемых в исследованиях, посвященных экологическим и природным факторам, можно отметить повышение среднегодовой температуры на планете, изменение режима выпадения и распределения осадков, наводнения и засухи; береговую эрозию; повышение уровня морей и рек; оползни, камнепады и лавины; загрязнение доступных источников чистой питьевой воды; изменение плодородности почв. Среди основных эффектов этих факторов отмечают экономический ущерб от экстремальных погодных явлений; распространение трансмиссивных заболеваний; воздействие на здоровье человека; климатическую

[13] *Гуриев С., Сонин К.* Экономика «ресурсного проклятья» // Вопросы экономики. Апрель 2008. № 4. С. 61–74.

миграцию; истощение природных ресурсов и др.[14] Большинство из них легли в основу 17 Целей устойчивого развития (ЦУР) ООН на период до 2030 г.[15]

В последние годы в ключевых докладах международных организаций и ученых рассматривается взаимосвязь антропогенного воздействия на природу, оказывающего дестабилизирующее влияние на экосистемы, от которых зависит выживание человечества, и человеческого потенциала. При этом экосистемные дисбалансы и социальные неравенства взаимно усиливают друг друга.

Определение человеческого потенциала за последние 60 лет претерпело существенные изменения, от исключительно экономического понимания данного феномена до включения социальных (общественных) и личных характеристик. ОЭСР определяет человеческий потенциал как «совокупность знаний, навыков, компетенций и характеристик индивида, которые формируют персональное, социальное и экономическое благополучие»[16]. В докладах ООН человеческий потенциал определен как способность людей быть теми, кем они хотят, и иметь возможность достигать желаемого в жизни[17]. Среди основных тем, затрагиваемых в исследованиях о развитии человеческого потенциала (компонентов человеческого потенциала), выделяют продолжительность и качество (стандарты) жизни, состояние здоровья, уровень образования, участие в общественной и политической жизни, экосистемные услуги и устойчивое развитие, безопасность и права человека, гендерное равенство и др.[18]

Тенденции развития природно-климатических систем и человеческого потенциала напрямую не пересекаются и основные

---

[14] *Safonov G., Avaliani S., Dorina A., Bolotov A., Safonov M.* Social Consequences of Climate Change. Building Climate Friendly and Resilient Communities via Transition from Planned to Market Economies. Friedrich-Ebert-Stiftung, 2019.

[15] Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. // ООН. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения 10.12.2020).

[16] OECD. The Well-being of nations. The role of human and social capital // OECD Center for Educational Research and Innovation. Paris, 2001.

[17] UNDP. The next frontier. Human development and the Anthropocene, 2020. <http://hdr.undp.org/en/2020-report> (дата обращения 10.12.2020).

[18] UNECE. Guide on Measuring Human Capital. N.Y.; Geneva, 2016.

направления развития в этих областях существенно различаются. Парадигма устойчивого развития позволяет интегрировать и гармонизировать обе повестки (рис. 2).

Рис. 2. Пересечение повестки в сфере природно-климатических систем и человеческого потенциала

Перечень ключевых природных и экологических тенденций, оказывающих влияние на развитие человеческого потенциала, представлен в табл. 1. Они были классифицированы по STEEPV-категориям: социальные, технологические, экономические, экологические, политические и ценностные.

Таблица 1. Перечень трендов в области интегрированного развития природно-климатических систем и человеческого потенциала

Социальные тренды
Рост народонаселения мира
Урбанизация, рост потребления ресурсов (и производства отходов) в городах и увеличение нагрузки на городскую инфраструктуру
Повышение качества жизни за счет повышения ресурсообеспеченности среды обитания человека

Усиление дифференциации в моделях потребления ресурсов различными социальными группами/группами стран
Увеличение потоков климатических мигрантов
Нарастание дефицита продуктов питания в определенных регионах мира
Рост популярности экотуризма среди населения преимущественно развитых стран
Развитие образования в области защиты окружающей среды
Технологические тренды
Развитие производственных технологий замкнутого цикла
Развитие технологий повышения ресурсоэффективности и ресурсосбережения
Развитие новых технологий передачи и хранения энергии и соответствующей инфраструктуры
Развитие технологий добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов, в том числе в регионах с экстремальными погодными условиями
Повышение технологической эффективности и снижение себестоимости решений в области возобновляемой и малой энергетики
Цифровизация экономики и развитие «умных» решений, в том числе на основе искусственного интеллекта
Быстрое развитие наук о жизни (генетики, биоинформатики и др.)
Развитие технологий секвестрации углерода, в том числе улавливания, использования и хранения углерода (CCUS)
Развитие технологий водоочистки и опреснения
Совершенствование технологий прогнозирования погоды и климатических явлений
Развитие современных агротехнологий (умного сельского хозяйства и точного земледелия)
Экономические тренды
Переход к экономике замкнутого цикла (circular economy)
Переход к «зеленому» росту экономики
Изменение мирового топливно-энергетического баланса: снижение доли нефти и угля, рост доли природного газа и ВИЭ
Рост объема отходов во всех отраслях экономики
Рост экономического ущерба от экстремальных погодных явлений и техногенных катастроф

Ограничение развития некоторых отраслей и их сегментов в связи с дефицитом природных ресурсов
Развитие межотраслевых решений полного цикла (Energy-as-a-Service — EaaS, Mobility-as-as Service — MaaS и др.)
Расширение межотраслевых эффектов потребления природных ресурсов
Нарастание дефицита квалифицированных специалистов, обладающих новыми компетенциями в области устойчивого развития и новых технологий
Экологические тренды
Деградация экосистем
Изменение климата
Истощение природных ресурсов
Изменение агроклиматической карты планеты
Развитие органического сельского хозяйства
Повышение вероятности возникновения опасных природных явлений и экологических катастроф и распространение их на новые территории
Рост критического влияния спроса на еду и энергию и повышающегося уровня жизни на управление водными, земными и энергетическими ресурсами
Политические тренды
Ужесточение экологического законодательства в части добычи и переработки полезных ископаемых
Переход к политике устойчивого («зеленого») роста
Усиление межгосударственной конкуренции за природные ресурсы
Возрастание роли государства в сфере разведки, производства и переработки полезных ископаемых
Ликвидация или сокращение определенных видов генерации (угольной, атомной)
Усиление государственной поддержки освоения нетрадиционных углеводородов
Ценностные тренды
Развитие культуры охраны природы и природопользования
Реализация принципов комплексного управления отходами
Развитие культуры ресурсосбережения
Интеграция социальных и экологических принципов (ESG, Environmental and Social Governance) в корпоративное управление

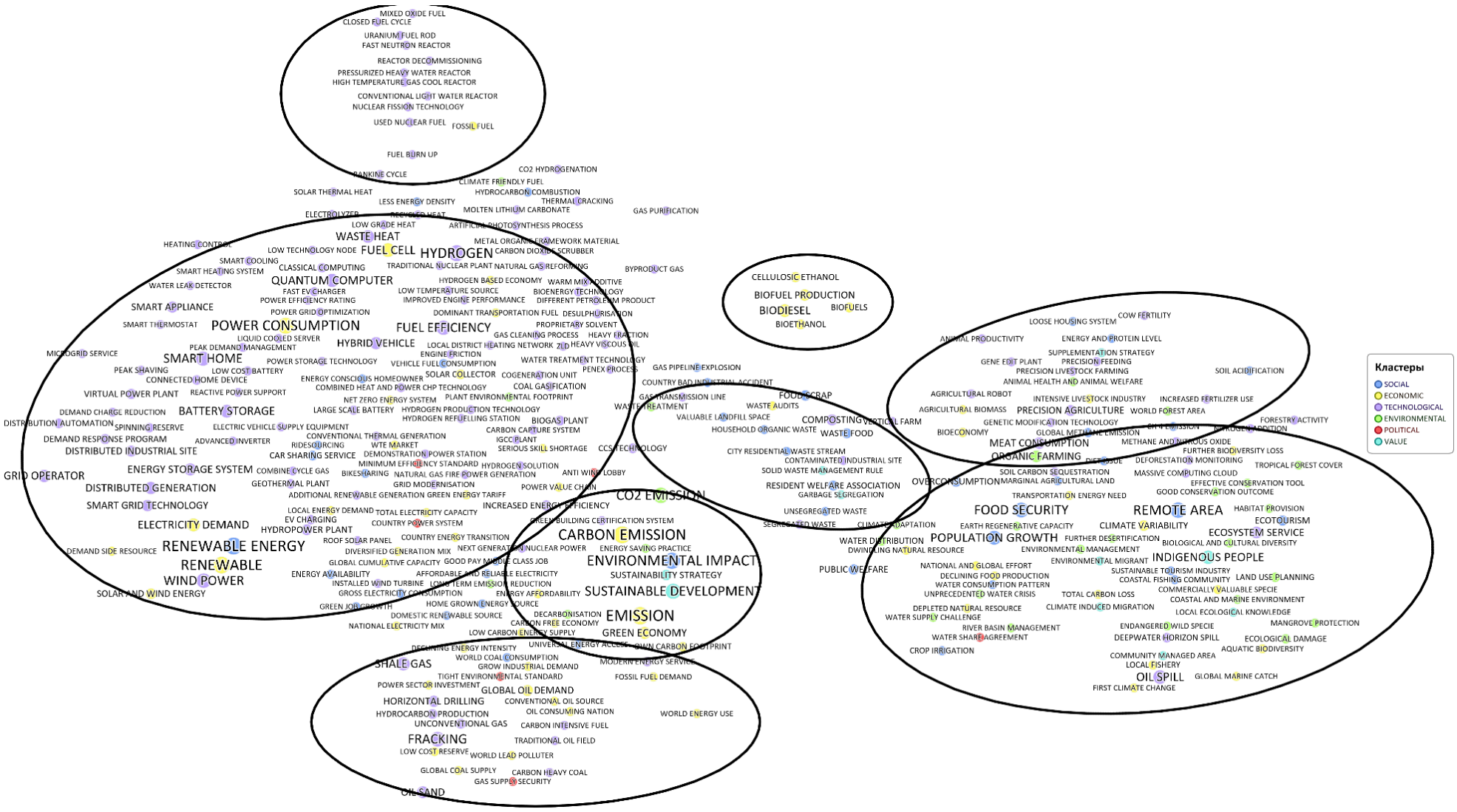

Рис. 3. Семантическая карта на английском языке

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA.

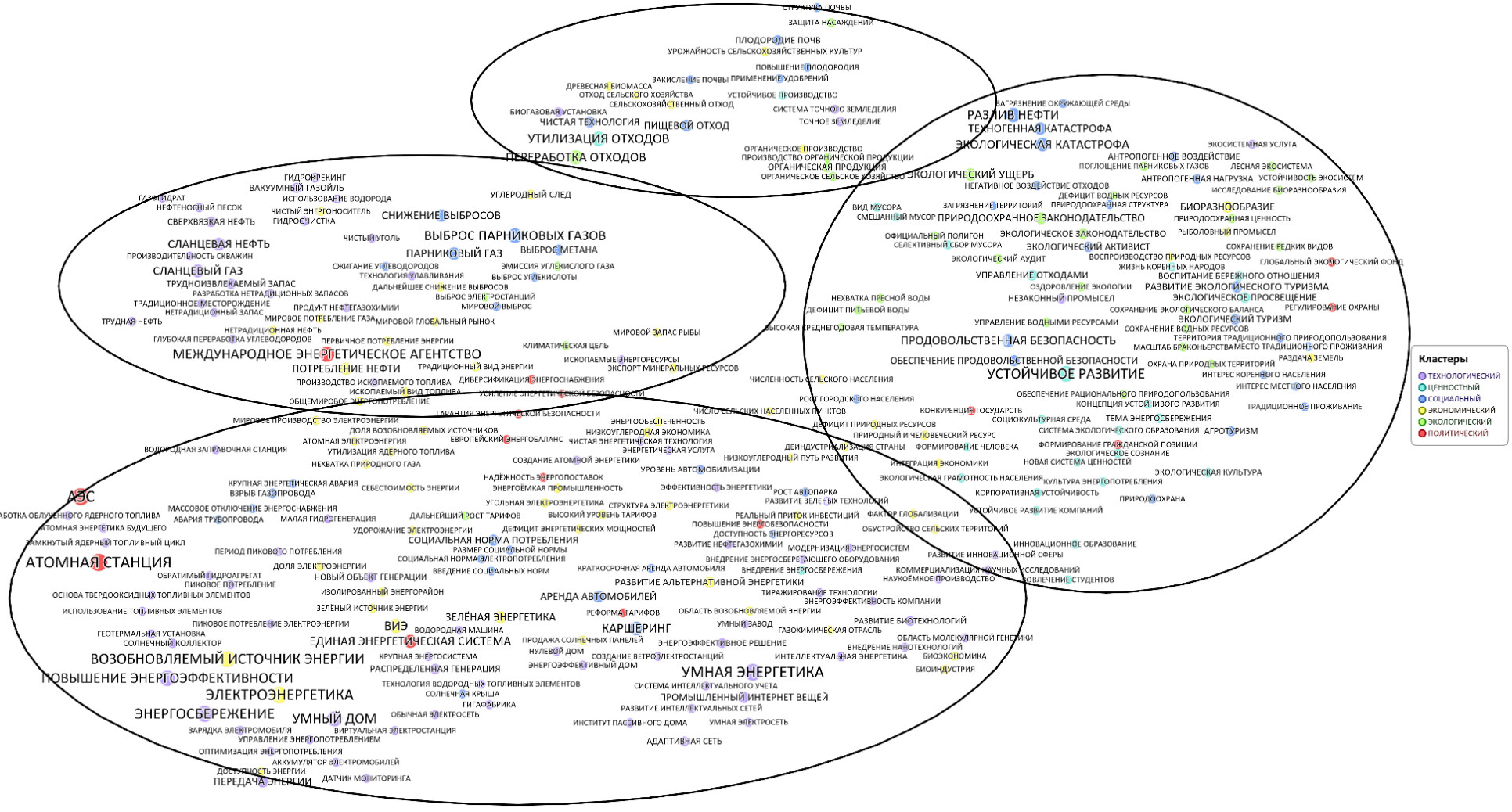

Рис. 4. Семантическая карта на русском языке

Источник: Система интеллектуального анализа больших данных iFORA.

Для определения популярности и значимости представленных в табл. 1 трендов была проведена оценка с использованием системы анализа больших данных iFORA НИУ ВШЭ, а по результатам этого анализа были построены семантические (рис. 3, 4) и тренд-карты. На картах, сформированных по русскоязычным и англоязычным источникам, представлены как общие, так и различные тематики.

Анализ больших данных, выполненный по англоязычным источникам, отражает глобальные тренды и факторы, включая рост мирового народонаселения и, как следствие, рост спроса на энергоресурсы (особенно в городах), исчерпание традиционных запасов углеводородов и развитие технологий добычи нетрадиционных ресурсов (рис. 3). В различных сегментах ТЭК наблюдаются структурные изменения, развиваются исследования и разработки чистых технологий. Можно отметить повсеместный интерес общества и компаний к устойчивому развитию, а также связанные с ним менее выраженные тренды развития органического сельского хозяйства, сохранения экосистемных услуг и экотуризма, заботы о животных. Значительное внимание уделяется обращению с отходами. В отличие от российской повестки на англоязычной карте, к примеру, присутствуют тематические блоки Биотопливо/Biofuel и Управление отходами/Waste Management.

Тематика русскоязычных источников во многом перекликается с англоязычными в сфере экологии (рис. 4). В части технологических трендов в России, как и в мире, активно развиваются решения для добычи нетрадиционных и трудноизвлекаемых запасов, набирают популярность технологии использования возобновляемых источников энергии и повышения энергоэффективности. Заметна связка информационно-коммуникационных технологий и использования ресурсов, включая умную энергетику и промышленный Интернет вещей. По результатам анализа источников на двух языках можно выделить следующие общие направления: Ископаемые энергоресурсы/Fossil Energy Resources; Развитие сельского хозяйства/Agriculture; Электроэнергетика и энергоэффективность/Power Generating Industry and Energy Efficiency; Экология и устойчивое развитие/Ecology и Sustainable Development.

Выводы и рекомендации

В заключение можно отметить, что субъекты системы «общество — окружающая среда» постоянно взаимодействуют друг с другом, и их интересы часто не совпадают или вступают в противоречие. Хотя тенденции развития природно-климатических систем и человеческого потенциала частично пересекаются (в сфере устойчивого развития), исследования этих двух феноменов сфокусированы на оценке и измерении прогресса в принципиально разных сферах.

Изобилие природных ресурсов зачастую сопряжено с негативными эффектами для экономического роста и человеческого капитала. Экономистами доказана отрицательная корреляция между темпом экономического роста и долей природных ресурсов в экспорте страны. К негативным эффектам «ресурсного проклятия» относят недостаточные стимулы к инвестициям в человеческий капитал со стороны домашних хозяйств из-за отсутствия спроса на квалифицированную рабочую силу; отсутствие стимулов к инвестициям в человеческий капитал со стороны государства из-за волатильности экспортных доходов от реализации природных ресурсов; высокий уровень расслоения общества; несменяемость правящих элит; негативное влияние на окружающую среду и здоровье граждан. Перечисленные негативные эффекты относятся к тем странам, в которых недостаточно развиты политические и экономические институты и социальная инфраструктура.

Анализ больших данных позволил выявить доминирующие в международной и российской повестке проблемы и тренды с учетом их значимости и динамичности. Основные тематики, выявленные по результатам анализа русскоязычных источников, перекликаются с теми, которые были выявлены в англоязычных источниках. На первый план выходят вопросы охраны окружающей среды (экологии) и перехода к устойчивому развитию. В мировой повестке доминируют рост мирового народонаселения и рост спроса на ресурсы (особенно в городах). В части технологических трендов в России, как и в мире, развиваются решения в сфере добычи ископаемых энергоресурсов. В глобальной повестке и, в меньшей степени, в России наблюдаются структурные изменения ТЭК, развиваются исследования и разработки чистых технологий. Можно отметить ценностный сдвиг домохозяйств и компаний к новым, более устойчивым, паттернам потребления товаров и ресурсов.

2. УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ РЕЗИЛИЕНТНОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ[19]

Н.К. Куричев, А.В. Птичников, А.В. Котов, В.В. Виноградова, Р.Г. Грачева, Е.А. Черенкова

Развитие мировой климатической повестки и постепенное формирование механизмов платы за выбросы парниковых газов ставит перед Россией серьезные вызовы, связанные с высокой долей ископаемого топлива в стоимости экспорта, низкой энергоэффективностью экономики, преобладанием ископаемого топлива во внутреннем энергопотреблении. В то же время в углеродный баланс страны существенный вклад вносят не только энергетический сектор, транспорт и промышленность, но и сектор землепользования и лесного хозяйства. Естественным преимуществом России является большой потенциал поглощения CO_2 природными системами на ее огромной территории, включая как леса, так и заброшенные сельскохозяйственные земли. Выбросы и поглощение парниковых газов природными экосистемами не являются предметом международного регулирования, но углеродные квоты, полученные за счет поглощения парниковых газов в результате управляемых изменений землепользования, могут обращаться на углеродных рынках в рамках как обязательных, так и добровольных механизмов.

Перспективы введения трансграничного углеродного налога в ЕС, развитие «зеленых» рынков и добровольной сертификации «зеленой» продукции, рост значимости рейтингов устойчивого развития (ESG-рейтинги) для привлечения «зеленого» льготного финансирования создают значительные стимулы для реализации лесоклиматических и агроклиматических проектов, способных обеспечить значительный потенциал для снижения чистых вы-

[19] Раздел 2 доклада подготовлен при участии исследователей Института географии РАН.

бросов углерода. На международном уровне созданы необходимые инструменты (офсет-проекты в секторе землепользования в рамках Киотских и национальных механизмов, добровольная сертификация). В России накоплен определенный опыт реализации таких проектов. Они могут принести экономическую выгоду инвесторам, способствовать выполнению международных климатических обязательств России, способствовать социально-экономическому развитию территорий.

Лесоклиматические проекты — это проекты управления сложными живыми системами, требующие комплексного подхода. Комплексный природно-социальный характер лесопользования и сельского хозяйства и их многофункциональная роль, выходящая далеко за рамки только производства продукции, определяет их ключевую роль в управлении резилиентностью территории. Реализация лесоклиматических проектов требует учета резилиентности ландшафтов, включая вопросы поддержки многоцелевого лесопользования, изменения направленности лесовосстановления в сторону создания более устойчивых к изменениям климата лиственных пород, поддержания биоразнообразия, противодействия инвазивным видам, эрозии и деградации земель, устойчивости к экстремальным метеорологическим событиям и т.д.

Переход к устойчивому лесопользованию невозможен без активного взаимодействия лесопользователей с местными сообществами. В современной России установленные законодательно условия работы муниципальных органов (ограниченность их полномочий, крайне слабая финансовая база и высокий уровень зависимости от финансовой помощи региональных бюджетов, сложившаяся практика взаимоотношений региональных властей с местными властями и населением) существенно ограничивают возможности участия местных сообществ в управлении. Тем не менее в России есть опыт вовлечения местного сообщества в формирование практик социально устойчивого лесопользования. Участие местного сообщества в управлении территориальной резилиентностью показано на примере хорошо исследованного модельного леса в Прилузье (Республика Коми).

Глобальные климатические изменения воспринимаются на локальном уровне преимущественно не как постепенные процессы, а через отдельные экстремальные события (шоки). Поэтому

уязвимость территориальных систем и их способность к восстановлению после шоков имеют определяющее значение для долгосрочных траекторий развития. Риски, связанные с глобальным изменением климата и глобальной климатической политикой, ставят в центр внимания вопрос *территориальной резилиентности*, которая включает способность не только восстанавливаться после шоков, но и адаптироваться к стрессам (социальным, политическим, экологическим или экономическим изменениям) и достигать более высокого уровня развития[20], обновляться и трансформироваться. Именно в связи с активизацией роли местных сообществ проблемы человеческого потенциала служат ключом к достижению территориальной резилиентности.

В следующих подразделах последовательно рассмотрены: 1) проблемы повышения резилиентности лесов России в контексте государственной лесной и сельскохозяйственной политики, в том числе путем вовлечения бизнеса в реализацию лесоклиматических проектов; 2) связь лесоклиматических проектов с широким контекстом резилиентности ландшафтов; 3) роль местного сообщества в повышении территориальной резилиентности, связь управления лесопользованием с практиками территориального управления. Таким образом, на примере одного из инструментов устойчивого развития — лесоклиматических проектов — рассмотрены общие вопросы управления территориальной резилиентностью в условиях глобальных изменений.

Повышение резилиентности лесов России и лесоклиматические проекты

Леса являются основным природным поглотителем парниковых газов (ПГ) в наземных экосистемах в мире. Россия — ведущая лесная держава мира, она располагает 22% глобальной площади лесов и 21% запасов лесных ресурсов. По данным Национально-

[20] *Fedele G., Donatti C.I., Harvey C.A., Hannah L., Hole D.G.* Transformative Adaptation to Climate Change for Sustainable Social-Ecological Systems // Environmental Science & Policy. 2019. Vol. 101. P. 116–125; *Wilson G.A.* Community Resilience and Environmental Transitions. L.: Earthscan/Routledge, 2012.

го доклада[21], разница между поглощением и выбросами ПГ в лесах России составляет 625 млн т CO_2-эквивалента (CO_2-экв.) в год. За счет такой разницы леса обеспечивают поглощение примерно 20% парниковых газов, ежегодно образующихся в народном хозяйстве РФ. Имеются и альтернативные методики расчета, по которым леса России в настоящее время поглощают до 80% российских выбросов парниковых газов[22].

Основную роль в поглощении углерода в лесах играет накопление углерода в древесной биомассе (83%), роль других компонентов лесных экосистем ниже. Основную роль в потерях углерода в лесных экосистемах играют деструктивные (верховые) пожары и сплошные рубки леса. Увеличение поглощающей способности лесов в первую очередь связано с улучшением противопожарной профилактики, повышением эффективности пожаротушения в лесах, снижением объема сплошных рубок, использованием более резилиентных к пожарам лиственных пород деревьев в восстановлении лесов.

В последнее время интерес к экосистемной функции лесов по депонированию углерода возрос. Это связано с введением Евросоюзом трансграничного углеродного налога (механизм пограничной углеродной корректировки, Carbon Border Adjustment Mechanism — CBAM), возможно, начиная уже с 2023 г. Несмотря на значительную неопределенность в конкретном дизайне и параметрах этого механизма[23], имеющиеся оценки показывают, что для российских экспортеров дополнительные затраты по данному на-

---

[21] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. М., 2019. <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2019/RUS_NIR-2018_v1.pdf> (дата обращения 10.03.2021).

[22] *Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В.* Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов атмосферы // ВНИИЛМ, Лесохозяйственная информация. 2016. № 3. <http://lhi.vniilm.ru/index.php/ru/filipchuk-a-n-malysheva-n-v-moiseev-b-n-strakhov-v-v-analiticheskij-obzor-metodik-uchjota-vybrosov-i-pogloshcheniya-lesami-parnikovykh-gazov-atmosfery> (дата обращения 10.03.2021).

[23] Трансграничное углеродное регулирование — что думают в Европе, а не в Брюсселе? // Институт проблем естественных монополий. 17 февраля, 2021 <http://ipem.ru/news/publications/2076.html> (дата обращения 12.03.2021).

логу могут составить от 3 до 5 млрд долл. в год[24]. Многие экспортеры из нефтегазового сектора, металлургии, производители удобрений обладают ограниченными возможностями по снижению прямых выбросов ПГ. Они хотели бы понизить свой углеродный след, приобретая единицы сокращения выбросов (ЕСВ), накопленные в специальных лесных проектах, направленных на увеличение поглощения и снижение выбросов парниковых газов в лесных экосистемах. Использование лесных ЕСВ — один из самых недорогих способов снижения углеродного следа. Затраты на тушение лесных пожаров в России составляют около 3 млрд руб. в год, при этом выбросы парниковых газов в результате пожаров достигают 200 млн т CO_2-экв. в год[25]. Затраты на дополнительные мероприятия по снижению выбросов в лесном секторе существенно ниже, чем на прямое сокращение выбросов ПГ в промышленности за счет мер по повышению энергоэффективности.

Леса России поглощают значительный объем парниковых газов (чистое поглощение с учетом дыхания). Единственным способом монетизации данного стратегического актива является реализация лесоклиматических проектов. По определению организации Forest Trends, лесоклиматические проекты (ЛКП) — это инициативы, способствующие учету углерод-депонирующей экосистемной функции лесов и, в ряде случаев, ее монетизации на углеродных рынках[26]. Основными элементами ЛКП являются базовая линия и дополнительность. Базовая линия накопления углерода формируется на основе наиболее распространенного сценария лесопользования, например, сплошные рубки с естественным возобновлением в хвойных бореальных лесах. Дополнительность — это те улучшения, которые участник ЛКП вносит

---

[24] KPMG оценила ущерб для России от введения углеродного налога в ЕС // РБК. 7 июля, 2020. <https://www.rbc.ru/business/07/07/2020/5f0339a39a79470b2fdb51be> (дата обращения 10.03.2021).

[25] По данным Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (дата обращения 12.03.2021).

[26] *Hamrick K., Gallant M.* Voluntary Carbon Markets Outlooks and Trends January to March 2018 // Forest Trends. August 2019. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/08/Q12018VoluntaryCarbon.pdf> (accessed 30.03.2021).

по сравнению с базовой линией. Это могут быть дополнительные, сверх требований законодательства, меры по профилактике пожаров, добровольному сохранению особо ценных лесов, повышение резилиентности лесов и т.д. В рамках ЛКП проводится количественная оценка запасов углерода в базовом и улучшенном сценарии. Разница между углеродным балансом базового и улучшенного сценариев представляет собой единицы сокращения выбросов (в т CO_2-экв.).

В мире было реализовано свыше 260 лесоклиматических проектов, в основном в рамках механизма REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation). В России было реализовано и сертифицировано всего три лесоклиматических проекта:

- Алтайский ЛКП[27] (лесоразведение на сельскохозяйственных землях);
- Бикинский ЛКП[28] (сохранение лесов от вырубки в аренде, схема REDD+);
- ЛКП «Тернейлес»[29] (добровольное сохранение лесов арендатором, схема REDD+).

По расчетам КПМГ, потенциал лесоклиматических проектов по сокращению выбросов ПГ в России достигает 360–420 млн т CO_2-экв. в год.

В России могут быть реализованы следующие типы лесоклиматических проектов.

ЛКП в рамках добровольного сохранения лесов арендаторами. Данные проекты могут быть направлены на сохранение лесов повышенной природоохранной ценности (ЛВПЦ) в аренде, в рамках добровольной FSC-сертификации (Forest Stewardship Council, Лесной попечительский совет). Она позволяет выходить в рыноч-

---

[27] Алтайский лесной проект. <https://co2les.ru/> (дата обращения 09.03.2021).

[28] Бикинский и Кедровый лесоклиматические проекты: результаты российско-германского сотрудничества на Дальнем Востоке // Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. <https://amurinfocenter.org/upload/iblock/165/kedrovyy_proekt_fin_interactive_version.pdf> (дата обращения 30.03.2021).

[29] На Дальнем Востоке FSC-сертифицированная компания реализует климатический проект // FSC. 25 марта, 2016. <https://ru.fsc.org/ru-ru/news/id/439> (дата обращения 12.03.2021).

ные ниши, требующие наличия сертификатов, и получать премию к цене. Сохранение лесов должно сочетаться с повышением эффективности профилактики и тушения пожаров. Базовой линией таких проектов является 100-процентное освоение расчетной лесосеки. Дополнительностью является сохранение наиболее экологически ценных лесов от рубок и пожаров.

ЛКП в рамках устойчивого лесопользования (Sustainable Forest Management), способствующего увеличению поглощения ПГ. Это проекты интенсивного использования и воспроизводства лесов (ИИВЛ), которые реализуются рядом крупных арендаторов леса. Все эти проекты также сертифицированы по системе FSC. Базовой линией таких проектов является обычное экстенсивное лесопользование со сплошными рубками. Дополнительностью может быть увеличение прироста древесины в результате активного ухода за лесом и выборочных рубок и связанное с этим увеличение поглощения ПГ.

ЛКП в рамках программ защитного лесоразведения. Данные ЛКП в первую очередь могут реализовываться на безлесных землях лесного фонда (ранее покрытых лесом), а также на сельскохозяйственных землях (полезащитное и противоэрозионное лесоразведение). Базовой линией является безлесная территория. Дополнительностью будет формирование устойчивых и резилиентных к изменениям климата лесов, восстановление исходных лесных экосистем. По данным Института глобального климата и экологии, срок окупаемости таких проектов при условии продажи единиц сокращения выбросов составляет 10–14 лет.

Термин «*климатически ориентированное (или климатически умное) лесное хозяйство*» (Climate Smart Forestry) означает ведение лесного хозяйства с учетом изменений климата. Климатически ориентированное лесное хозяйство — это целевая стратегия увеличения климатических выгод от лесов, экосистемных услуг лесов и лесного сектора таким образом, чтобы создать синергию с другими потребностями, связанными с лесами[30]. Данная стратегия основана

[30] *Nabuurs G.-J., Verkerk P. J., Schelhaas M.-J., Olabarria J., Trasobares A., Cienciala E.* Climate-Smart Forestry: Mitigation impacts in three European regions // From Science to Policy 6. European Forest Institute. 2018. <https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_fstp_6_2018.pdf> (дата обращения 22.03.2021).

на трех основных приоритетах: 1) сокращение выбросов и повышение поглощения ПГ лесами для смягчения последствий изменения климата; 2) адаптация управления лесным хозяйством для создания устойчивых (резилиентных) лесов; 3) активное ведение лесного хозяйства, направленное на устойчивое повышение продуктивности и обеспечение всех преимуществ, которые могут дать леса.

Повышение резилиентности лесов к изменениям климата может быть достигнуто при изменении стратегии лесовосстановления и установлении приоритета формирования смешанных высокопродуктивных древостоев в условиях аренды для лесопользователей. Ряд лесопромышленных компаний (ГК «Сегежа», группа «Илим», «Монди», ИКЕА) начали внедрять отдельные элементы климатически ориентированного лесного хозяйства в практику управления лесами, диверсифицируют лесообеспечение за счет увеличения поставок лиственных пород, главным образом березы и осины, используемых как в производстве целлюлозы, так и биоэнергетического сырья (пеллет).

Второе направление повышения резилиентности экосистем связано с усилением государственных программ по защитному лесоразведению и облесению, как на сельскохозяйственных землях[31], так и на землях лесного фонда.

Леса, расположенные на сельскохозяйственных землях, имеют очень большое значение для поглощения парниковых газов. Национальный доклад[32] выделяет две основные категории таких лесов (полезащитные — 1,175 млн га, противоэрозионные насаждения — 1,119 млн га) с совокупным нетто-поглощением почти 16 млн т CO_2-экв. в год. Если один гектар лесов на землях лесного фонда в среднем поглощает около 1 т ПГ в год (по действующей методике РОБУЛ-М), то один гектар защитных и противоэрозионных лесов на сельскохозяйственных землях — около 7 т, т.е. в 7 раз больше.

За всю историю защитного лесоразведения в России было посажено 5,2 млн га защитных лесных насаждений, повышающих устойчивость сельского хозяйства к климатическим шокам. К на-

---

[31] Постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2020 № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения».

[32] Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов...

стоящему времени их площадь более чем в 2 раза меньше. К этому привели ежегодная гибель лесокультур из-за нестабильности и низкого качества проведения посадочных работ и ухода за посадками, а также старение насаждений. В настоящее время площадь искусственных защитных лесных насаждений разного назначения составляет лишь 1,3% аграрной территории России, что по крайней мере в 3–4 раза меньше научно обоснованных норм облесения[33]. Разработанная ВНИИАЛМИ «Стратегия защитного лесоразведения России»[34] не была одобрена на уровне Правительства России или профильного ФОИВ и не получила требуемого финансирования. По данным Рослесхоза, площадь защитного лесоразведения на землях лесного фонда, не занятых лесом, в 2018 г. составила лишь 800 га[35]. Таким образом, огромный потенциал повышения поглощения углерода лесными экосистемами на аридных землях и потенциал повышения резилиентности сельскохозяйственных земель к климатическим шокам за счет защитного лесоразведения используется в нашей стране крайне слабо.

Резилиентность ландшафтов в контексте климатических изменений

Глобальные изменения климата — один из наиболее существенных внешних вызовов для резилиентности территорий в связи с беспрецедентной скоростью этих изменений под воздействием антропогенных факторов[36]. По данным Росгидромета, на

---

[33] *Кулик К.Н.* Развитие защитного лесоразведения в РФ в связи с климатическими рисками в земледелии // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. (География). 2014. Т. 27 (66). № 2. С. 59–64.

[34] *Кулик К.Н., Иванов А.Л., Свинцов И.П., Барабанов А.Т. и др.* Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 г. Волгоград, 2008.

[35] Сведения о показателях (индикаторах) государственной программы, подпрограмм государственной программы, федеральных целевых программ (подпрограмм федеральных целевых программ) и их значениях. Рослесхоз, 2020.

[36] Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2014.

территории России в последние 20 лет по сравнению с предыдущими периодами значительно участились опасные явления погоды и инициированные ими техногенные чрезвычайные ситуации. В будущем вероятно нарастание «резкости» выпадения осадков в виде отдельных ливней или снегопадов, рост количества сильных паводков и наводнений, штормовых ветров, колебаний погоды в виде череды холодных и теплых периодов[37]. Рост температуры воздуха и изменения режима выпадения осадков будут способствовать увеличению числа лесных пожаров, засух, опустыниванию, деградации вечной мерзлоты.

Кроме прямых рисков экстремумов температуры и осадков, изменение климата влияет на живучесть, распространение и поведение возбудителей и переносчиков инфекционных болезней, способствует продвижению опасных болезней в более северные регионы. Недостаток осадков приводит к уменьшению ресурсов пресной воды, а экстремальные осадки в летний и переходные сезоны часто являются причиной катастрофических наводнений на уязвимых территориях. Различные угрозы в результате изменения климата могут накапливаться или развиваться одновременно, вызывая многокомпонентные или каскадные воздействия на резилиентность ландшафтов. В связи с этим ключевым элементом управления является снижение риска стихийных бедствий до их воздействия — предотвращение, готовность и смягчение последствий[38].

Предпринимаемые мировым сообществом усилия по сокращению выбросов парниковых газов пока не приводят ни к замедлению потепления, ни даже к снижению темпов роста концентрации этих газов[39]. Поэтому необходимо обратить особое внимание на природные процессы, связанные с углерод-депонирующей функцией агро- и природных экосистем, а также принимать во внимание последствия управленческих решений, приводящих к усилению или замедлению выбросов парниковых газов.

---

[37] Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. СПб., 2017.

[38] *Pelling M.* Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation. Routledge, 2011.

[39] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 г. Росгидромет, 2020.

Многофункциональная роль лесного и сельского хозяйства требует учета как «видимой пользы», так и негативных аспектов, обычно неочевидных и не принимаемых в расчет при управленческих решениях. Управленческие решения в аграрной сфере должны не только быть направлены на планирование продуктивности земель, но и учитывать вклад, который агроэкосистемы вносят в непродовольственные экосистемные услуги, такие как связывание углерода в почвах, водоохранная и лесоохранная функции почв и др. Запасы углерода в первом метре почв мира, по оценкам[40], почти в 2 раза больше, чем в атмосфере, и в десятки раз больше ежегодных антропогенных выбросов. Почвы с высоким содержанием углерода, как правило, являются наиболее продуктивными и особенно высоко ценимыми в сельском хозяйстве, но при нерациональном использовании такие почвы продуцируют значительные выбросы парниковых газов. Методы, позволяющие сохранять почвенный углерод, заделывая богатый углеродом почвенный материал с поверхности на большую глубину (например, предпочтение культур с глубокой корневой системой или глубокая запашка[41]), применимы только для определенных агроклиматических условий и набора культур и требуют глубокой перестройки аграрных практик.

При анализе устойчивого развития России в условиях глобальных климатических изменений необходимо не ограничиваться анализом потенциала поглощения углерода ландшафтами в краткосрочной перспективе, но и рассматривать более широкий круг ключевых экологических ограничений в управлении землепользованием. В частности, при реализации лесо- и агроклиматических проектов ключевым показателем эффективности должно быть не только поглощение углерода. Также необходимо учитывать: 1) приоритеты сохранения и повышения биоразнообразия (например, избегать монокультурных насаждений в пользу фор-

---

[40] *Lorenz K., Lal R.* The Depth Distribution of Soil Organic Carbon in Relation to Land Use and Management and the Potential of Carbon Sequestration in Subsoil Horizons // Advances in Agronomy. 2005. Vol. 88. P. 35–66.

[41] Global Symposium on Soil Organic Carbon // FAO. 2017. <http://www.fao.org/about/meetings/soil-organic-carbon-symposium/ru/> (дата обращения 12.03.2021).

мирования посадок с более сложной видовой структурой, по возможности приближенных к естественным экосистемам данной территории); 2) исключить использование агрессивно инвазивных видов; 3) учитывать косвенные эффекты для смежных территорий и других компонентов ландшафтов (например, влияние лесных насаждений на микроклиматические показатели, на маршруты миграции животных, предотвращение эрозии и деградации земель и т.д.).

Только такие подходы позволят сформировать резилиентные ландшафты, которые смогут депонировать углерод не только в краткосрочной, но и в долгосрочной перспективе и будут устойчивы к неизбежным внешним шокам (например, засухам и иным экстремальным природным явлениям). В частности, в лесном секторе такие подходы: 1) будут способствовать снижению рисков лесных пожаров, которые являются одним из важнейших источников выбросов парниковых газов в секторе землепользования и способны во многом нивелировать результаты лесоклиматических проектов; 2) будут способствовать долгосрочному накоплению углерода в почве, которая является одним из крупнейших резервуаров долгосрочного хранения углерода; 3) позволят избежать деградации насаждений под воздействием вредителей, заболеваний, пожаров и т.д. Решение задач комплексного восстановления нарушенных ландшафтов и повышения уровня их резилиентности необходимо для долгосрочного вклада в поглощение углерода.

Долгосрочная устойчивость лесо- и агроклиматических проектов требует глубокой дифференциации применяемых подходов по типам аграрных и естественных экосистем, способных существовать на данной территории[42]. Управление почвенным углеродом требует учета природных закономерностей, которым подчиняются поглощение и эмиссия углерода в зависимости от сезонных природных процессов в тундровых, лесных, степных экосистемах. Особую озабоченность вызывают так называемые «горячие точ-

---

[42] *Птичников А.В., Карелин Д.В., Котляков В.М., Паутов Ю.А., Боровлев А.Ю., Кузнецова Д.А., Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И.* Применимость международных индикаторов оценки нейтрального баланса деградации земель к бореальным лесам России // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 2. С. 195–198.

ки»: болота, многолетняя мерзлота и пойменные экосистемы (например, Волго-Ахтубинская пойма), которые содержат большие количества аккумулированного органического углерода[43].

Эффективные модели лесо- и агроклиматических проектов неизбежно будут дифференцироваться не только в зависимости от природных условий территории, но и от социально-экономических факторов (пригородные зоны — периферия регионов; плотность населения и уровень транспортной доступности, устойчивость сельского расселения; продуктивность, специализация и организационная структура сельского хозяйства; культурные и этнические особенности населения и т.д.). Существенно разный дизайн проектов необходим для заброшенных сельскохозяйственных земель в Центральной России, для восстановления лесополос и лесных участков в южных регионах с сохранением интенсивного аграрного использования окружающих территорий, для лесовосстановления на вырубках в таежной зоне (также дифференцированной — северная тайга, средняя тайга, южная тайга, градиент «запад — восток»). Исследование роли заброшенных сельскохозяйственных земель в балансе углерода только начинается[44].

Участие местного сообщества в повышении территориальной резилиентности

Участие местного сообщества в повышении территориальной резилиентности мы будем рассматривать на примере хорошо исследованного модельного леса в Прилузье (Республика Коми). Он занимает более 800 тыс. га (вся территория Прилузского лесничества)[45]. На территории модельного леса проживает около 17 тыс.

---

[43] Карта «Запасы органического углерода в почвах», масштаб 1:30 000 000 // Национальный атлас почв Российской Федерации / ред. С.А. Шоба. М.: Астрель, 2011. С. 72.

[44] *Karelin D.V., Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Lunin V.N., Kudikov A.V.* Changes of soil carbon emission in a course of post-agrogenic succession in chernozem forest-steppe // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. Iss. 11. P. 1229–1241.

[45] *Тысячнюк М.С.* Развитие демократических форм принятия решений в процессе построения модели устойчивого лесопользования в Прилузье // Роль гражданского общества в стимулировании корпоративной социальной ответственности в лесном секторе России. (Научные доклады независимой

человек, значительная часть которых — коми. Среди населенных пунктов представлены как старинные коми и русские деревни, так и лесопромышленные поселки. Расчетная лесосека по Прилузскому лесничеству составляет около 1,7 млн м^3, в год осваивается около 800 тыс. м^3. Активно развиваются крупные эффективно организованные компании с высоким уровнем управления и менеджмента: ООО «Лузалес» (перерабатывает древесину на месте) и АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (отправляет ее на переработку в Сыктывкар). В основу деятельности модельного леса «Прилузье» при активной роли Всемирного фонда дикой природы (WWF России) легла концепция устойчивого управления лесами (с учетом экологических, социальных и экономических аспектов)[46]. Были привлечены добровольцы с опытом активного участия местных сообществ в решении экологических проблем из другого района — из поселков бассейна реки Печоры.

Участие местного сообщества в формировании корпоративной социальной ответственности реализуется через институты общественных слушаний, участие в работе органов местного самоуправления, различных совещательных органов и общественных организаций. От года к году инициативы WWF России становились более комплексными. В 2019–2020 гг. реализовывались проекты по обучению социальному проектированию в рамках территориального общественного самоуправления, по практикам участия местных сообществ в управлении лесами, расширения диалога местных жителей с лесозаготовительными компаниями (обсуждение охоты на лесных территориях, проекта производства топливных гранул, влияния лесозаготовок на качество потребляемой жителями воды и др.). В рамках проекта «Интеграция сельской общины вокруг экономической стабилизации на основе устойчивого использования природных ресурсов» ставятся не только задачи взаимодействия крупного бизнеса и населения в развитии территорий,

---

экономической экспертизы). № 202. М.: Московский общественный научный фонд, 2008. С. 18.

[46] Модельный лес «Прилузье»: сохранение девственных лесов и диалог с общественностью. По материалам интервью с П. Маевски, Д. Кутеповым и Ю. Паутовым. <https://wwf.ru/upload/iblock/dd6/05-_27_.pdf> (дата обращения 04.03.2021).

но и помощи в создании новых сфер деятельности для коренного населения (новых местных «специализаций»).

В Прилузье ведется активная просветительская деятельность через местные школы и библиотеки. Важную роль сыграла апелляция природоохранных организаций к коллективной памяти местного сообщества (участие в создании музея истории политических репрессий) — деятельность «непрофильная» в аспекте экологической безопасности лесозаготовительной деятельности, но важная с точки зрения формирования активного самосознания местного сообщества, а также его доверия к природоохранной организации. Создание музея помогает вовлечь в развитие территории коренных жителей с их историческим опытом и памятью, локальным знанием, связями с природными системами. Это позволяет выйти за узкие отраслевые и административные рамки, создать предпосылки для вовлечения местных жителей в планирование и управление природопользованием. В таких условиях вовлечение — это не формальное присутствие институтов самоуправления[47], а существенное участие в критических решениях по вопросам природопользования на территории сообщества, в выработке политики, ее внедрении и оценке.

Исследования Прилузья показывают, как тесно переплетаются в проблемах территориальной резилиентности природные и социальные аспекты. Вызовы климатических изменений и повышение требований к экологичности производства требуют компромисса между социальной устойчивостью, экологической устойчивостью и экономической базой на конкретных территориях. Для реализации инвестиционных проектов (в том числе лесоклиматических) необходимо переплетение природного, финансового и человеческого капитала (знаний и организационных способностей местного сообщества). Динамику природопользования нельзя рассматривать отдельно от усилий по повышению уровня и качества жизни людей на соответствующих территориях.

Для обеспечения баланса хозяйственной активности и ответственного природопользования необходимо выходить за рамки

[47] Разграничение формальных и неформальных институтов актуально не только для России, см., напр.: *Christensen H.E., McQuestin D.* Community engagement in Australian local governments: A closer look and strategic implications // Local Government Studies. 2018. <https://doi.org/10.1080/03003930.2018.1541794>.

исключительно отраслевого подхода и корпоративных решений и делать акцент на территории, которые обладают системным единством ввиду наличия уникального актива (в данном случае — слабонарушенного леса) и сходства ландшафта. Инициативы в Прилузье позволили интегрировать всех пользователей ресурсов этого ареала. Конкретный механизм повышения территориальной резилиентности — это социальные усилия по преодолению фрагментации интересов различных компаний, природоохранных ведомств, отдельных сельских поселений и улучшение координации между региональным, местным, корпоративными уровнями управления природопользованием.

Территориальная резилиентность предполагает раскрытие потенциала местных сообществ в форме локальных навыков и практик природосберегающего ведения хозяйства в рамках концепции «локализованных перетоков знания»[48]. В свою очередь, местный уклад жизни и досуга, территориальная доступность социальных благ и экономическая связность пространства, экономическая устойчивость территории стимулируют жителей оставаться в данном месте. Для территориальной резилиентности в долгосрочной перспективе ключевую роль играют самооценка местных сообществ и их территориальная идентичность — связывают ли они свое будущее и будущее своих детей с данной территорией, какие представления о ней и ее перспективах формируют, какие формы миграционного поведения[49] осуществляют, продолжают ли зарабатывать на жизнь в рамках локальной экономики. Привязанность к месту (укорененность) и понимание собственной идентичности во многом определяют миграционные стратегии[50], накопление или размывание человеческого потенциала террито-

---

[48] См., напр.: Синергия пространства: региональные инновационные системы, кластеры и перетоки знания / под ред. А.Н. Пилясова. Смоленск: Ойкумена, 2012.

[49] *Sakdapolrak P., Naruchaikusol S., Ober K., Peth S.M., Porst L., Rockenbauch T., Tolo V.* Migration in a Changing Climate. Towards a Translocal Social Resilience Approach // DIE ERDE — Journal of the Geographical Society of Berlin. 2016. No. 147. P. 81–94.

[50] Foresight 2011: Migration and Global Environmental Change. Final Project Report. L.: The Governance Office for Science, 2011.

рии, могут сдерживать социальное опустынивание территории[51]. Работа с тонкими факторами развития территорий требует учета локального контекста, местных ценностей, уровня доверия к институтам управления.

Важным приоритетом должна стать организация работы с населением, система повышения его осведомленности о взаимосвязи климатических, энергетических, экологических проблем с постоянным отслеживанием изменения социальной ситуации и корректировкой программ[52]. Подобные программы, опирающиеся на научные знания и ориентированные на разные группы населения, эффективно работают во многих странах, в том числе на локальном уровне при поддержке государственных институтов[53]. В России такая деятельность практически не налажена.

Выводы и рекомендации

На данный момент российское лесное законодательство в совершенно недостаточной степени учитывает вопросы изменения климата и повышения роли лесов в депонировании углерода. Такое положение противоречит потенциальной роли российских лесов в выполнении обязательств по Парижскому соглашению по климату и проекту Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Единственным исключением является Стратегия развития лесного комплекса РФ до 2030 г.[54], где этим вопросам уделено до-

---

[51] *Нефёдова Т.Г., Трейвиш А.И.* Поляризация и сжатие освоенных пространств в центре России: тренды, проблемы, возможные решения // Демографическое обозрение. 2020. Т. 7. № 2. С. 31–53. <https://doi.org/10.17323/demreview.v7i2.11138> (дата обращения 10.03.2021).

[52] См., напр.: *Wehde W., Nowlin M.* C. Public Attribution of Responsibility for Disaster Preparedness across Three Levels of Government and the Public: Lessons from a Survey of Residents of the U.S. South Atlantic and Gulf Coast // Publius: The Journal of Federalism. 2020. pjaa037. <https://doi.org/10.1093/publius/pjaa037> (дата обращения 10.03.2021).

[53] См., напр.: *Youm J., Feiock R.C.* Interlocal Collaboration and Local Climate Protection // Local Government Studies. 2019. Vol. 45. I. 6. P. 777–802. <https://doi.org/10.1080/03003930.2019.1615464> (дата обращения 10.03.2021).

[54] Утверждена распоряжением Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р.

статочное внимание. В Стратегии разработаны сценарии адаптации к изменениям климата, включающие комплекс мер по ключевым факторам уязвимости лесных экосистем. Разработаны меры по увеличению продуктивности лесов для повышения депонирования углерода. Если Стратегия получит необходимое финансирование, можно ожидать повышения резилиентности лесных экосистем в условиях идущих климатических изменений.

Чтобы обеспечить стабильный долгосрочный вклад управляемого землепользования в поглощение парниковых газов, необходима комплексная корректировка государственной лесной и земельной политики (в дополнение к отдельным климатическим проектам). В области лесной политики это в первую очередь: 1) улучшение ухода за лесом в лесном фонде, охраны лесов от пожаров и болезней (в том числе изменение структуры и функций лесоуправления и лесопользования); 2) реконструкция и посадка новых защитных лесных полос; 3) принятие и выполнение Стратегии развития защитного лесоразведения; 4) усиление профилактики лесных пожаров и с/х палов (со стороны арендаторов лесного фонда, а также с/х пользователей, соседствующих с лесным фондом) и создание правовой основы для лесовыращивания на сельскохозяйственных землях.

Одной из важнейших задач является повышение достоверности оценок компонентов углеродного цикла по ландшафтам России. В настоящее время такие оценки характеризуются высокой неопределенностью, в первую очередь из-за острого недостатка прямых измерений, необходимых для верификации данных дистанционного зондирования Земли. Для повышения точности данных необходимы скорейшее завершение работ по государственной инвентаризации лесов (ГИЛ), совершенствование методик оценок бюджета углерода природными системами (в первую очередь лесами); развитие сети прямых измерений потоков парниковых газов Fluxnet; повышение качества научной экспертизы формируемой сети карбоновых полигонов. Необходимо поэтапное создание репрезентативной сети наблюдений, охватывающих основные ландшафтные зоны (тундра, тайга различных типов, смешанные леса, лесостепи, степи, пустыни; азональные ландшафты, в первую очередь болота) и различные типы ландшафтов в зависимости от характера землепользования (пашни, пастбища, многолетние

культуры, вырубки и заброшенные сельскохозяйственные земли в различных стадиях сукцессии). В конечном счете данные подходы позволят создать единый Национальный реестр природных выбросов и абсорбции парниковых газов (в дополнение к существующему Национальному кадастру антропогенных выбросов и абсорбции), на который и будут работать сети прямых измерений и дистанционного мониторинга, охватывающие разные природные ситуации.

Долгосрочная устойчивость лесо- и агроклиматических проектов может обеспечиваться только во взаимосвязи с комплексными вопросами территориальной резилиентности, включая ключевые ограничения по резилиентности ландшафта. Уход от хищнических практик природопользования (незаконные вырубки, палы, перевыпас скота, неэффективные агротехники и т.д.) невозможен без решения социально-экономических проблем территорий. Экономические модели лесо- и агроклиматических проектов должны ориентироваться не только на решение задач инвесторов в лице крупных компаний по получению зачетных единиц поглощения парниковых газов, но и на вклад в занятость и доходы населения на территориях реализации проектов.

Поиск наиболее эффективных подходов для локальных условий требует активной роли как региональных властей, так и в особенности муниципальных органов, которым для этого необходимо предоставить необходимые ресурсы и полномочия, отсутствующие у них в настоящее время. Проекты повышения территориальной резилиентности по самой своей сути не могут эффективно реализовываться исключительно в рамках подхода «сверху вниз». Их успех связан с «выращиванием» местных инициатив и с использованием местных ресурсов. В большинстве случаев самым дефицитным ресурсом является человеческий потенциал — знания и навыки местного сообщества, его способность к самоорганизации. В связи с этим необходима поддержка существующих лучших практик управления территориальной резилиентностью, распространение полученного опыта для других близких по условиям территорий, поддержка образовательных проектов в области территориального управления и развития, поддержка местных инициатив и снятие существующих ограничений.

3. СЦЕНАРНЫЕ ПРОГНОЗЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ, ПРИРОДНОЙ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМ В РОССИИ ДО 2050 г.

Г.В. Сафонов, А.В. Стеценко, В.Ю. Поташников, А.Л. Дорина, Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, А.Г. Сизонов, И.Д. Фролов

В 2019 г. Россия присоединилась к Парижскому климатическому соглашению ООН. Указом Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» установлена национальная цель — «обеспечить к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов до 70 процентов относительно уровня 1990 года с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем и при условии устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации».

Согласно последним официальным данным о выбросах и поглощении парниковых газов (ПГ)[55], суммарные нетто-выбросы ПГ в России сократились с 3,109 млрд т эквивалента CO_2 (CO_2-экв.) в 1990 г. до 1,629 млрд т CO_2-экв. в 2018 г. (на 48%), при этом динамика выбросов и поглощения парниковых газов в различных отраслях и секторах экономики существенно различается (табл. 2). Основными источниками выбросов ПГ являются сжигание ископаемого топлива (52% суммарных выбросов ПГ без учета лесов), эмиссии метана (33% суммарных выбросов ПГ без учета лесов), а нетто-поглощение лесами компенсирует, согласно официальным данным, около 25% национальных выбросов ПГ.

Важнейшими факторами, влияющими на динамику выбросов парниковых газов в России, являются рост ВВП, структура эконо-

[55] Росгидромет, Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, 2020.

мики и отраслевая структура промышленности, технологические характеристики отраслей и секторов (доля устаревших технологий, инфраструктуры и др.), численность населения. Изменение численности населения является важным фактором для оценки спроса на горизонте прогнозирования до 2050 г.[56] По данным ООН, в России к 2050 г. ожидается снижение численности населения на 10 млн человек относительно 2019 г.[57]

Тренды изменения объемов эмиссии и поглощения парниковых газов в России за период с 2000 по 2018 г. показывают, что выбросы ПГ существенно увеличились, за исключением роста поглощения CO_2 лесами и выбросов в других видах землепользования (табл. 2). Для построения прогнозной динамики объемов нетто-выбросов ПГ в Российской Федерации необходимо сочетание нескольких подходов, применяемых для прогнозирования объемов ПГ по различным группам источников.

Таблица 2. Выбросы парниковых газов по категориям источников, млн т CO_2-экв.

Категории источников	1990 г.	2000 г.	2018 г.	2018 г. к 1990 г.	2018 г. к 2000 г.
Энергетика	1171	843	825	70%	98%
Промышленность и строительство	211	99	167	79%	168%
Транспорт	320	174	254	79%	146%
Другие виды сжигания топлива	589	192	227	39%	119%
Фугитивные выбросы (метан)	277	207	279	101%	135%
Всего выбросов от энергетики	2569	1515	1753	68%	116%
Минеральное сырье	62	28	37	59%	130%
Химическая промышленность	81	61	78	96%	127%
Металлургия	137	104	107	78%	102%

[56] *Safonov G., Potashnikov V., Lugovoy O. et al.* The Low Carbon Development Options for Russia // Climatic Change. 2020. No. 162. P. 1929–1945.

[57] UN Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics. <https://population.un.org/> (accessed 30.03.2021).

Категории источников	1990 г.	2000 г.	2018 г.	2018 г. к 1990 г.	2018 г. к 2000 г.
Другие промышленные процессы	4	2	22	608%	945%
Всего выбросов от промышленности	283	196	243	86%	124%
Сельское хозяйство	276	128	127	46%	99%
Лесное хозяйство	–226	–595	–635	–281%	–107%
Другие виды землепользования	148	113	45	30%	40%
Отходы	59	62	98	165%	158%
Всего выбросов от землепользования, лесного хозяйства и отходов	258	–292	–366	–142%	–125%
ВСЕГО ВЫБРОСОВ ПГ В РОССИИ	3109	1419	1629	52%	115%

Источник: Росгидромет, Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, 2020.

Особенности моделей прогнозирования выбросов и поглощения углерода

Энергетическая модель. В отраслях, связанных со сжиганием ископаемых видов топлива в России (52% выбросов ПГ без учета лесов), моделирование производится с использованием модели частичного равновесия TIMES, разработанной в рамках программы ETSAP Международного энергетического агентства[58]. Моделирование с помощью TIMES согласуется с международными подходами к прогнозированию долгосрочных сценариев низкоуглеродного развития экономики[59]. Преимуществом этой модели

[58] *Loulou R. et al.* Documentation for the TIMES Model — ETSAP IEA, 2021.

[59] *Waisman H., Bataille C., Winkler H. et al.* A Pathway Design Framework for National Low Greenhouse Gas Emission Development Strategies // Nature Climate Change. 2019. Vol. 9. P. 261–268; *Panagiotis F., Schaeffer R., Reedman L. et al.* Energy System Transitions and Low-carbon Pathways in Australia, Brazil, Canada, China, EU-28, India, Indonesia, Japan, Republic of Korea, Russia and the United States // Energy. November 2020. Vol. 216 (Part A); *Schaeffer R., Köberle A., van Soest H. et al.*

является учет сложных технологических взаимосвязей в энергетическом секторе.

Модель состоит из блока предложения, блока технологий и блока конечного спроса. Блоки связаны между собой более чем 30 потоками товаров и услуг. Модель описывается оптимизационной задачей нахождения минимума линейной функции дисконтированных издержек добычи, импорта и технологий, использование которых необходимо для удовлетворения конечного спроса.

В электроэнергетике России в настоящее время генерирующие мощности включают 179 ГВт тепловых электростанций, работающих преимущественно на природном газе в европейской части России и на угле на Урале и в Сибири, 51 ГВт гидроэлектростанций и 26 ГВт атомных электростанций. КПД существующих тепловых электростанций составляет 29–35%, в то время как КПД перспективных и наилучших доступных технологий генерации составляет 45–60%. Солнечные и ветровые электростанции являются ключевыми альтернативами электростанциям на основе ископаемых видов топлива.

Основными драйверами конечного спроса на энергию и эмиссии ПГ являются: рост ВВП, структура экономики и промышленного производства, производство, потребление и экспорт ископаемого топлива, металлургическое производство, численность населения, площадь и энергоэффективность жилых зданий и коммерческой недвижимости, динамика грузовых и пассажирских перевозок.

Модель лесного хозяйства. Объемы поглощения и эмиссии углерода в лесном хозяйстве оцениваются на основе расчетов с использованием модели CBS-CFS3[60] на отчетный период с 1990 г. и на перспективу до 2050 г. Нетто-поглощение углерода лесами составляет значительную часть общего углеродного баланса в России, поэтому учет углерод-депонирующей функции лесов имеет важное значение для выполнения обязательств России по Парижскому соглашению.

Comparing Transformation Pathways Across Major Economies // Climatic Change. 2020. No. 162. P. 1787–1803.

[60] *Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M. et al.* CBM-CFS3: A Model of Carbon-Dynamics in Forestry and Land-Use Change Implementing Ipcc Standards // Ecological Modelling. 2009. Vol. 220. No. 4. P. 480–504.

Характеристики моделируемых отраслей и секторов экономики России

Энергетика. По данным 2018 г., энергетический сектор доминирует в структуре выбросов, и его доля в совокупной эмиссии составляет 79%. Этот сектор является источником наибольшего объема выбросов, но обладает высоким потенциалом снижения углеродоемкости. По данным 2018 г., 30% всей энергии вырабатывалось на электростанциях с нулевыми выбросами (в основном на АЭС и ГЭС)[61]. Возможностями для данной отрасли являются увеличение доли электростанций с нулевыми выбросами, не только за счет использования АЭС и ГЭС, но и за счет строительства электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии (ветряные, приливные, геотермальные), а также применения технологий улавливания и хранения углерода на объектах с ненулевой эмиссией. Помимо этого, внедрение уже существующих технологий для повышения энергоэффективности производства энергии способно значительно снизить потребление топлива.

Промышленность. Выбросы от промышленных источников (не включая сжигание топлива) достигают 11% (на 2018 г.). К 2050 г. ожидается значительный рост промышленного производства, для некоторых отраслей прирост может составить свыше 40%. За счет переработки доменного газа, использования технологий прямого восстановления железа и ряда других инновационных решений углеродоемкость промышленности может быть существенно снижена.

Транспорт является одной из наиболее быстрорастущих отраслей. К 2050 г. ожидается прирост числа пассажирских перевозок более чем на 100%. Возможности декарбонизации отрасли связаны с распространением электротранспорта, гибридных и водородных автомобилей, использованием газа и биотоплива, распространением безуглеродного общественного транспорта.

Лесное хозяйство. После значительного роста поглощения углерода лесами с 200 млн т CO_2 в 1990 г. до 750 млн т CO_2 в 2008 г. объемы поглощения CO_2 сократились почти на 20% за 2009–2018 гг.

---

[61] Минэнерго России, Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 г. (утв. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р).

Негативная динамика связана прежде всего с распространением лесных пожаров, вредителей и болезней леса, увеличением рубок, а также старением лесов, что уменьшает их углерод-депонирующую способность. По оценкам ЦЭПЛ РАН, к середине 2040-х годов эмиссия углерода лесами может значительно возрасти и даже превысить объемы поглощения CO_2.

Сценарии развития экономики России до 2050 г. Одна из важных предпосылок в расчетах — уменьшение экспорта нефти и нефтепродуктов вдвое, прекращение экспорта угля и рост экспорта природного газа к 2050 г.[62] В качестве прогноза роста населения используется медианный прогноз Росстата, который предполагает практически постоянную численность населения[63]. Предпосылка для всех рассматриваемых сценариев — рост реального ВВП (в ценах 2012 г.) до 4,9 трлн долл. США (по ППС) к 2050 г.

Проанализированы следующие сценарии развития экономики РФ до 2050 г.

Сценарий «развитие-как-обычно» (BAU) предполагает постепенную модернизацию производственных технологий в отраслях промышленности, энергетики, транспорта, ЖКХ, но без создания существенных дополнительных стимулов для широкомасштабного внедрения низкоуглеродных технологий, использования возобновляемых источников энергии и т.д. Сценарий подразумевает рост экономики и промышленности при уже принятых мерах по низкоуглеродному развитию. При этом основная нагрузка по внедрению энергоэффективных и низкоуглеродных технологий, использование ВИЭ осуществляется без дополнительных мер государственной поддержки. Бизнес за свой счет реализует соответствующие проекты и программы, главная цель которых — увеличение производства и повышение конкурентоспособности, а углеродный эффект (снижение выбросов ПГ) является вторичным.

Сценарий поступательного низкоуглеродного развития (CAP60) предполагает эффективную реализацию стратегии по стимулиро-

---

[62] *Safonov G., Potashnikov V., Lugovoy O. et al*. Op. cit.

[63] Консервативная оценка стабильной численности населения. По данным UN Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics, с 2020 по 2050 г. численность населения России может сократиться с 145,9 до 135,8 млн человек.

ванию снижения выбросов ПГ в ключевых секторах экономики (энергетика, промышленность, транспорт, ЖКХ), направленных на сокращение суммарного объема выбросов CO_2 от сжигания топлива на 40% к 2050 г. от уровня 1990 г. Модельные расчеты базируются на предположениях о том, что экономика России и ее ключевые отрасли будут расти достаточно высокими темпами, благосостояние населения будет увеличиваться, при этом будут предприниматься умеренно активные меры по внедрению низкоуглеродных и безуглеродных технологий.

Сценарий декарбонизации экономики (CAP50) предполагает достижение целевого показателя снижения выбросов CO_2 от сжигания топлива на 50% ниже уровня 1990 г. к 2050 г. В качестве мер по декарбонизации предполагается широкомасштабное использование ВИЭ и других безуглеродных энергоисточников, в том числе применение технологии улавливания и захоронения углерода (CCS), которая может быть доступна в России для коммерческого использования после 2030 г.

Результаты сценарных прогнозов выбросов ПГ от сжигания топлива приведены в табл. 3. Отправной точкой для расчетов выбран 2018 г., поскольку последние официальные данные инвентаризации выбросов ПГ доступны именно за этот период.

Таблица 3. Динамика выбросов CO_2 от сжигания топлива в РФ по сценариям роста экономики, 2020–2050 гг., млн т CO_2 в год

Сценарии роста	1990	2018	2020	2030	2040	2050
BAU	2292	1473	1575	1524	1557	1586
CAP60			1574	1464	1363	1325
CAP50			1572	1422	1207	1125

Источники: 1990 и 2018 гг. — Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, 2020; 2020–2050 гг. — расчеты авторов.

В сценарии BAU выбросы CO_2 вырастут на 3% до 2030 г. и на 8% к 2050 г. от уровня 2018 г. (достигая 69% от уровня 1990 г. в 2050 г.). В сценарии CAP60 выбросы CO_2 незначительно возрас-

тают к 2020 г., а затем постепенно снижаются на 10% ниже уровня 2018 г. к 2050 г. (что составит 58% от уровня 1990 г.). В сценарии CAP50 выбросы CO_2 сокращаются после 2020 г. на 24% от уровня 2018 г. к 2050 г. (49% от уровня 1990 г.).

Для оценки нетто-поглощения углерода лесами на период до 2050 г. рассматриваются следующие сценарии.

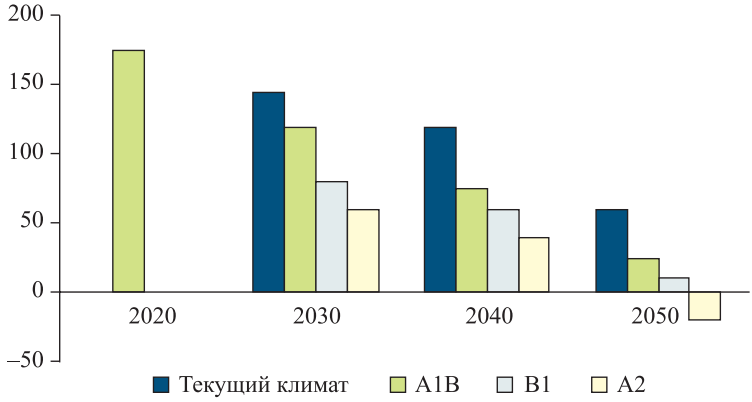

Рис. 5. Сценарные прогнозы нетто-поглощения углерода управляемыми лесами России по модели CBM-CFS3 (сценарии МГЭИК A1B, B1, A2), 2020–2050 гг., млн т С в год

Источник: Замолодчиков, Краев, 2016[64]; Сафонов, Стеценко, Шишин, 2016[65].

Сценарий «максимум поглощения» по модели CBS-CFS3 предполагает, что лесопользование будет осуществляться без изменений для управляемых лесов без учета изменения климата (рис. 5, сценарий «текущий климат»). *Сценарий «минимум поглощения»* по модели CBS-CFS3 предполагает длительный умеренный рост лесопользования для управляемых лесов без учета изменения климата (рис. 5, сценарий B1 МГЭИК). *Сценарий «минимум поглощения +*

[64] *Замолодчиков Д., Краев Г.* Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки // Устойчивое лесопользование. 2016. Т. 4. № 48. С. 23–31.

[65] *Сафонов Г.В., Стеценко А.В., Шишин М.Ю.* Лес и изменение климата: региональная стратегия адаптации (на примере Алтая). М.: ТЕИС, 2016.

+ *климат»* по модели CBS-CFS3 предполагает длительный умеренный рост лесопользования для управляемых лесов с учетом наиболее пессимистического сценария влияния изменения климата на управляемые леса РФ (рис. 5, сценарий A1B МГЭИК). *Сценарий «минимум поглощения + климат + рубки»* по модели CBS-CFS3 предполагает значительный рост лесопользования для управляемых лесов и крайне пессимистический сценарий влияния изменения климата леса РФ (рис. 5, сценарий A2 МГЭИК).

Динамика выбросов ПГ от сжигания топлива оценивается по результатам моделирования роста экономики с использованием модели TIMES по сценариям BAU, CAP60, CAP50. Предположения для других секторов и источников выбросов и абсорбции ПГ по сценариям задаются по историческим трендам, включая фугитивные выбросы CO_2, выбросы CO_2 от производства минеральных материалов, химической промышленности, металлургии и других промышленных источников, сельского хозяйства и других видов землепользования, выбросы метана, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6, NF_3. При определении значений прироста выбросов по этим источникам использовались консервативные оценки.

Сводные оценки выбросов ПГ по сценариям представлены в табл. 4. Во всех рассмотренных сценариях наблюдается рост суммарных нетто-выбросов ПГ к 2050 г. по сравнению с уровнем 2018 г. При этом важно учесть, что во всех сценариях выполняется национальная цель по предотвращению роста выбросов ПГ более 70% от 1990 г. на 2030 г., указанная в национальном вкладе в рамках Парижского соглашения[66].

В сценарии «развитие-как-обычно» (BAU) выбросы ПГ достигнут 60–67% от уровня 1990 г. к 2030 г., 64–74% к 2040 г., 72–79% к 2050 г. при сценариях, учитывающих применение действующей методики учета поглощения углерода лесами.

В сценариях активной политики по низкоуглеродному развитию и декарбонизации экономики РФ (CAP60 и CAP50) уровень нетто-выбросов ПГ не превысит 70% от 1990 г. в 2020–2050 гг. (за исключением наиболее пессимистического сценария воздействия изменения климата на лес в 2050 г. для CAP60).

---

[66] Russian Submission of Intended Nationally Determined Contribution to Paris Agreement, UNFCCC, 2015.

Таблица 4. Оценки выбросов ПГ в России по рассматриваемым сценариям, % (1990 г. = 100%)

Сценарии	1990	2018	2020	2030	2040	2050
Сценарий «максимум поглощения» — лесопользование без изменений для управляемых лесов без учета изменения климата (по модели CBS-CFS3)						
BAU	100	51	57	60	64	72
CAP60	100	51	57	57	59	65
CAP50	100	51	57	56	54	60
Сценарий «минимум поглощения» — длительный умеренный рост лесопользования для управляемых лесов без учета изменения климата (по модели CBS-CFS3)						
BAU	100	51	62	64	68	75
CAP60	100	51	62	62	62	68
CAP50	100	51	62	60	57	63
Сценарий «минимум поглощения + климат» — длительный умеренный рост лесопользования для управляемых лесов и влияние изменения климата по сценарию A1B МГЭИК (по модели CBS-CFS3)						
BAU	100	51	62	67	74	79
CAP60	100	51	62	65	68	72
CAP50	100	51	62	64	64	67

Источник: Оценки авторов.

Для анализа возможностей глубокой декарбонизации экономики России в сопоставлении с прогнозами низкоуглеродного развития Минэкономразвития России (Базовый (Гос) и Интенсивный (Гос)), проведен анализ дополнительных сценариев (рис. 6 и табл. 5)[67].

Результаты моделирования показали, что базовый сценарий, согласованный с климатическими обязательствами России, не подразумевает усиления мер по снижению углеродоемкости экономики (рис. 6), сопоставим с базовым сценарием Минэкономраз-

[67] Минэкономразвития России, Проект Стратегии долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., март 2020 г.

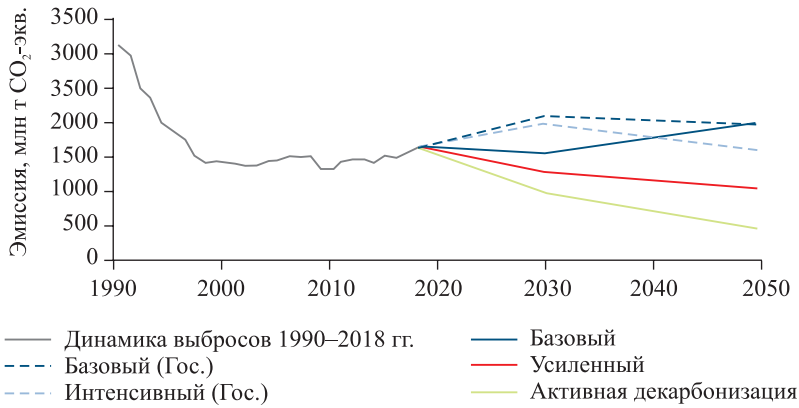

Рис. 6. Сравнение прогнозов эмиссии ПГ в России по сценариям Минэкономразвития России и модельным расчетам авторов

вития РФ[68] и менее эффективен с точки зрения сдерживания роста выбросов ПГ к 2050 г., чем интенсивный сценарий. Данный сценарий предполагает увеличение эмиссии на 22% от уровня 2018 г. к 2050 г. Согласно усиленному сценарию, меры по снижению выбросов парниковых газов позволяют достичь к 2050 г. снижения выбросов объемом 1042 млн т CO_2-экв., что соответствует 33% от уровня 2018 г. (64% от 1990 г.). Сценарий активной декарбонизации предлагает наиболее эффективные результаты с точки зрения сокращения эмиссии, достигая показателя в 458 млн т CO_2-экв. к 2050 г. Данный показатель на 72% ниже уровня 2018 г. (15% от уровня 1990 г.). Этот сценарий предполагает ведение активной политики по декарбонизации энергетического сектора, инвестирование значительных ресурсов в техническую модернизацию и переход на безуглеродные источники энергии. За счет активного снижения объема выбросов в иных секторах, суммарная эмиссия которых составляет 467,5 млн т CO_2-экв., а также увеличения поглощения углерода Россия способна приблизиться к цели Парижского соглашения по достижению климатической нейтральности к 2050 г.

[68] Проект Стратегии низкоуглеродного развития экономики России. <https://economy.gov.ru/material/file/babacbb75d32d90e28d3298582d13a75/proekt_strategii.pdf> (дата обращения 30.03.2021).

Таблица 5. Прогнозы выбросов ПГ в России по сценариям и секторам

Сценарий	Эмиссия парниковых газов, млн т CO_2-экв.					
	Энерге-тика	ЗИЗЛХ*	Промыш-ленные процессы	Сельское хозяйство	Отходы	Всего
2030 г.						
Базовый	1504,1	–496,1	297,9	131,5	114,9	1552,5
Усиленный	1266,6	–496,1	269,2	129,1	106,0	1274,9
Активная декарбонизация	1155,3	–643,1	243,1	126,7	97,7	979,7
2040 г.						
Базовый	1427,8	–312,3	353,0	135,8	129,2	1733,6
Усиленный	933,3	–312,3	293,1	131,1	113,4	1158,7
Активная декарбонизация	710,6	–459,3	243,1	126,7	97,7	718,7
2050 г.						
Базовый	1414,8	–132,3	418,3	140,1	146,7	1987,8
Усиленный	600,0	–132,3	319,26	133,2	121,4	1041,6
Активная декарбонизация	266,0	–275,6	243,1	126,7	97,7	457,8

* ЗИЗЛХ — землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство.

Источник: Оценки авторов.

Выводы и рекомендации

Во всех рассмотренных сценариях обязательства РФ в рамках Парижского соглашения по снижению выбросов ПГ на 30% от уровня 1990 г. к 2030 г. полностью выполняются, никаких рисков превышения целевого уровня не возникает.

При активной политике по стимулированию низкоуглеродного развития, декарбонизации экономики и иных мер по снижению выбросов ПГ ожидается создание существенного задела по снижению выбросов в период с 2030 по 2040 г. При выработке позиции России по обязательствам на период после 2030 г. целе-

сообразно учесть кумулятивное сокращение выбросов ПГ и использование накапливаемых объемов сокращения выбросов для будущих периодов.

В период в 2040 по 2050 г. возможен рост суммарных выбросов ПГ в связи с сокращением поглотительной способности лесов (увеличение заготовок, влияние изменения климата, распространение лесных пожаров, болезней леса и др.) и задержкой с переходом на низкоуглеродные технологии в энергетике, промышленности, транспорте и ЖКХ.

Переход на низкоуглеродные и безуглеродные энергоресурсы и технологии, повышение энергоэффективности, переход на производственные процессы без эмиссии парниковых газов в металлургии, химической, нефтехимической и других отраслях, совершенствование управленческих систем и другие меры в комбинации с улучшением учета поглощения углерода и управления лесными экосистемами будут способствовать достижению лидерства России в выполнении целей Парижского соглашения. Наша страна обладает огромным природно-ресурсным, технологическим, инвестиционным потенциалом для масштабного сокращения выбросов ПГ и декарбонизации экономики.

4. ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ: РОЛЬ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АРКТИКИ

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

Арктика играет важнейшую роль в климатической системе планеты и является наиболее чувствительной ее частью, особенно когда речь идет о потеплении, связанном с эмиссией парниковых газов. Изменения, которые климат вызывает в арктических морских экосистемах и биогеохимических циклах этих систем, оказывают и будут оказывать в дальнейшем серьезное влияние на состояние окружающей среды и экономику Российской Федерации, включая определяющее воздействие на топливно-энергетическую, рыбную и транспортную отрасли народного хозяйства, освоение природных ресурсов и жизнь коренных народностей Севера. Президент РФ на Международном арктическом форуме «Арктика — территория диалога» в Санкт-Петербурге 9 апреля 2019 г. отметил: «...Арктика теплеет в четыре раза быстрее, чем остальной мир, а Россия — в два с половиной раза быстрее, чем остальной мир. Это — тревожная тенденция...». Это актуально для нашей страны, где около 70% территории содержит многолетние мерзлые породы (далее — *мерзлота*) в различных формах, в морях Восточной Арктики (далее — МВА) и Карском море содержатся более 80% всей подводной мерзлоты, а также запасы углеводородов планетарного масштаба, включая *газовые гидраты*. Значимый факт: средняя температура верхнего 100-метрового слоя подводной мерзлоты составляет примерно –1° С, т.е. близка к температуре фазового перехода для дистиллированной воды. Однако, учитывая, что поровые воды осадков засолены морской водой, становится очевидным, что подводная мерзлота находится в транзите из мерзлого в намерзлое состояние[69], в отличие от наземной мерзлоты, которая оттаивает летом на незначительную глубину.

---

[69] *Shakhova N.E., Semiletov I.P.* Methane Hydrate Feedbacks // Arctic Climate Feedbacks: Global Implications / M. Sommerkorn, S.J. Hassol (eds). WWF Inter-

На рубеже третьего тысячелетия научное сообщество пришло к выводу, что газовые гидраты являются не только потенциальным источником неконтролируемого поступления метана в атмосферу и драйвером возможных быстрых климатических изменений, но и энергетическим ресурсом будущего.

Данный раздел сфокусирован на климатическом аспекте роли метана, основным источником которого являются арктические шельфовые гидраты, гигантские запасы которых в настоящее время превышают общее количество метана в атмосфере в сотни раз. Это означает, что метановый потенциал арктических шельфовых гидратов может рассматриваться в качестве одного из ключевых факторов, способных привести к многократному увеличению содержания атмосферного метана и труднопредсказуемым климатическим последствиям, обусловленным усилением парникового эффекта[70].

Кроме того, прогрессирующая деградация мерзлоты на суше и на шельфе приводит к разрушению инфраструктуры портов и городов, транспортных магистралей (включая нефтегазопроводы), промышленных предприятий и в первую очередь ресурсодобывающих компаний, что в настоящее время уже вызывает убытки, оцениваемые в миллиарды рублей только на территории РФ. Кроме того, аварийные ситуации, связанные с недоучетом степени деградации подводной мерзлоты и дестабилизации гидратов, возникают при проведении разведочного бурения на шельфе, что может привести к серьезным экологическим и социально-экономическим последствиям. Поэтому изучение и предотвращение

---

national Arctic Programme, August 2009. P. 81–92; *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., Leifer I., Sergienko V. et al.* Ebullition and Storm-Induced Methane Release from the East Siberian Arctic Shelf // Nature Geoscience. 2014. Vol. 7. No. 1; *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System and Associated Methane Releases in the East Siberian Arctic Shelf // Geosciences. 2019. Vol. 9. No. 6. Art. numb. 251; *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V. et al.* Current Rates and Mechanisms of Subsea Permafrost Degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. 2017. Vol. 8. Art. numb. 15872.

[70] *Shakhova N.E., Semiletov I.P.* Methane Hydrate Feedbacks; *Shakhova N., Semiletov I.* Trace Gas Emissions from Sub-Sea Permafrost.

георисков, связанных с освоением ресурсов арктического шельфа, требуют разработки новых научных подходов и технологий, которые пока не включены в систему требований к инженерным изысканиям в прибрежной зоне и на арктическом шельфе. Способность понимать и предвидеть будущие изменения арктических экосистем в ответ на происходящие климатические изменения является первостепенной, поскольку она обусловлена необходимостью своевременно реагировать на возможные сложные и критические ситуации, которые могут возникать в ходе реализации государственных планов развития Арктического региона. Это особенно актуально с учетом утверждения Указом Президента РФ от 26.10.2020 № 645 Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года[71].

Ниже приводится краткий анализ состояния исследований биогеохимических, климатических и экономических последствий деградации подводной мерзлоты и дестабилизации гидратов — массированных выбросов пузырькового метана на арктическом шельфе. Обсуждаются проблемы создания и развития национальной научной программы, которая может иметь значимый геополитический резонанс и быть реализована в период председательствования РФ в Арктическом совете в 2021–2023 гг.

Оценка содержания метана в морях Восточной Арктики

Консервативные оценки, выполненные для шельфа МВА, самого широкого и мелководного шельфа Мирового океана, дают величину метанового потенциала МВА примерно в 1750 Гт углерода[72], из них в форме газовых гидратов 750 Гт, природного газа 500 Гт и собственно ОВ мерзлоты 500 Гт; и это при том, что в современной атмосфере содержится примерно 750 Гт C/CO_2 и

[71] Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

[72] 1 Гт = 1 млрд т.

5 Гт C/CH_4[73]. Отметим, что только метановый потенциал газовых гидратов МВА превышает на три порядка антропогенные ежегодные выбросы метана на нашей планете[74] и более чем в 20 тыс. раз превышает антропогенный выброс метана с территории мирового индустриального лидера — США[75].

На рис. 7 представлены области распространения мелководных арктических газгидратов и подводной мерзлоты, состояние которой определяет масштабы разгрузки пузырькового метана из осадков в водную толщу-атмосферу[76].

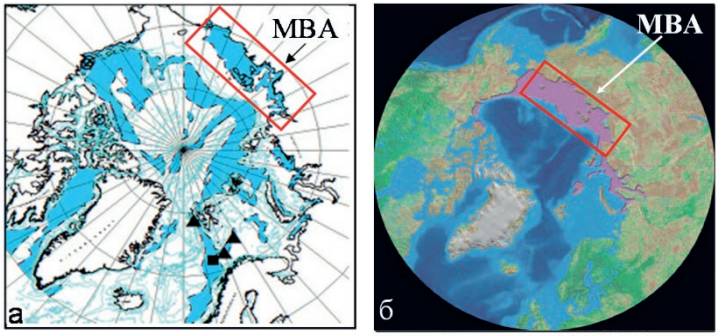

Рис. 7. Предполагаемые области распространения мелководных арктических газгидратов и подводной мерзлоты

Источник: Romanovskii et al., 2005.

---

[73] ACIA, 2004; IPCC, 2001; *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. No. 1 (transl. in English by Springer); *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System...

[74] IPCC, 2001; 2007; 2014.

[75] *Miller S.M., Wofsy S.C., Michalak A.M., Kort E.A. et al.* Anthropogenic Emissions of Methane in the United States // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 2013. Vol. 110. No. 50. P. 20018–20022.

[76] *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System...; *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V. et al.* Current Rates and Mechanisms of Subsea Permafrost Degradation...; *Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L. et al.* The East Siberian Arctic Shelf: Towards Further Assessment of Permafrost-Related Methane Fluxes and Role of Sea Ice // Phil. Trans. R. Soc. A. 2015. Vol. 373. No. 2052. Article ID 20140451. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0451>.

Предполагая, что под районами сплошного протаивания подводной мерзлоты (сквозными таликами) гидраты уже дестабилизированы, и принимая во внимание, что площадь сквозных таликов на шельфе МВА составляет 5–10%[77], потенциальная эмиссия метана в атмосферу может составить от 37,5 до 75 Гт, что, возможно, приведет к увеличению концентрации атмосферного метана от 5 до 25 раз. При различных сценариях поступления метана в атмосферу[78] это может привести к дополнительному потеплению климата, сопоставимому с эффектом от предполагаемого удвоения содержания двуокиси углерода в атмосфере до конца 2100 г.[79]

Российские ученые, которые занимаются этими исследованиями под руководством авторов данного доклада с 90-х годов XX в.[80], 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[81]. Отметим, что наиболее значимые научные результаты прорывного характера были получены в рамках взаимовыгодного сотрудничества между учеными межрегиональной группы: членом-корреспондентом РАН И.П. Семилетовым, профессором Н.Е. Шаховой и академиком Шведской Королев-

---

[77] *Romanovskii N.N., Hubberten H.W., Gavrilov A.V. et al.* Offshore Permafrost and Gas Hydrate Stability Zone on the Shelf of East Siberian Seas // Geo-Mar Lett. 2005. Vol. 25. P. 167–182. <https://doi.org/10.1007/s00367-004-0198-6>.

[78] *Shakhova N.E., Semiletov I.P.* Methane Hydrate Feedbacks; *Shakhova N.E., Sergienko V.I., Semiletov I.P.* Modern State of the Role of the East Siberian Shelf in the Methane Cycle // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2009. Vol. 79. No. 6. P. 507–518.

[79] IPCC, 2001; 2014.

[80] *Semiletov I.P.* On Aquatic Sources and Sinks of CO_2 and CH_4 in the Polar Regions // J. Atmos. Sci. 1999. Vol. 56. P. 286–306.

[81] *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Joussupov V., Kosmach D., Gustafsson O.* Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf // Science. 2010*a*. Vol. 327. P. 1246–1250; *Shakhova N.E., Alexeev V.A., Semiletov I.P.* Accessing Future Increase in Methane Emission...; *Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E.* Understanding the Permafrost-Hydrate System...; *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V. et al.* Current Rates and Mechanisms of Subsea Permafrost Degradation...; *Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V. et al.* The East Siberian Arctic Shelf...; *Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V. et al.* Ebullition and Storm-Induced Methane Release...

ской Академии наук, членом Нобелевского комитета по химии профессором О. Густафссоном. Это сотрудничество было начато в начале 2000-х годов в рамках договорных отношений между Президиумом ДВО РАН и Шведским Полярным секретариатом и осуществлено в рамках крупных совместных морских экспедиций, успешно реализованных в МВА, включая международную экспедицию 2008 г. на гидрографическом судне «Яков Смирнитский»[82], признанную NASA наиболее эффективной биогеохимической экспедицией, осуществленной во время Международного Полярного года (2007–2008 гг.), а также 90-суточную экспедицию на шведском научно-исследовательском ледоколе «Оден» — крупнейшую научную экспедицию, выполненную в МВА на мировом уровне.

Мировой уровень исследований авторского коллектива иллюстрируется публикацией более чем 100 статей в журналах первого квартиля, включая 15 статей в группе журналов «Science», «Nature», «Proceedings of National Academy of Sciences of the USA», что является залогом успешного выполнения задач, которые поставлены в рамках НЦМУ НИУ ВШЭ. Морская часть исследований будет реализована в ежегодных комплексных морских экспедициях, которые состоятся в развитие уже выполненных 49 экспедиций и схематически представлены на рис. 8.

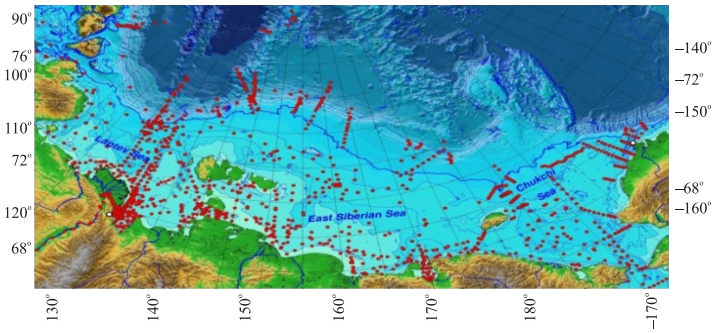

Рис. 8. Положение комплексных океанологических станций, выполненных авторским коллективом в МВА и в реке Лене в период 1994–2020 гг.

[82] *Semiletov I.P., Gustafsson Ö.* East Siberian Shelf Study Alleviates Scarcity of Observations // Eos, Transactions, AGU. April 28, 2009. Vol. 90. No. 17. P. 145–146.

Отметим, что в МВА авторским коллективом еще до 2010 г. выполнено больше измерений растворенного метана в водной толще, чем остальными исследователями Мирового океана на тот период времени[83]. Кроме того, были выполнены комплексные геологические и геофизические исследования, включающие бурение подводной мерзлоты с припайного льда, и сотни тысяч измерений содержания метана в приводном слое атмосферы и в поверхностном слое арктических морей РФ, что является доказательной научной базой данных, необходимых для обоснования потенциальной климатической роли изменяющейся системы «подводная мерзлота — гидраты» в МВА.

Последним успешным примером международного сотрудничества является осуществление единственной в мире международной экспедиции в арктических морях в 2020 г. на научно-исследовательском судне «Академик Мстислав Келдыш» (сентябрь — ноябрь 2020 г.), в рамках которой в том числе был задокументирован рост размеров областей массированной разгрузки пузырькового метана из осадков в водную толщу-атмосферу и открыто неизвестное ранее явление аномальной разгрузки пузырькового метана на внешнем шельфе морей Восточной Арктики[84].

Дополнительное воздействие на нарушение сплошности подводной мерзлоты и формирование каналов выброса метана может оказывать повышенная сейсмотектоническая активность на границе Евро-Азиатской и Северо-Американской тектонических плит и в рифтовой зоне МВА[85]. В настоящее время исследования

---

[83] *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Joussupov V., Kosmach D., Gustafsson O.* Extensive Methane Venting...; *Shakhova N.E., Alexeev V.A., Semiletov I.P.* Accessing Future Increase in Methane Emission...

[84] Полученные предварительные научные результаты экспедиции привлекли внимание ведущих национальных и мировых СМИ, включая центральные каналы телевидения России (https://www.theguardian.com/science/2020/oct/27/sleeping-giant-arctic-methane-deposits-starting-to-release-scientists-find; https://www.themoscowtimes.com/2020/10/28/new-methane-discharge-discovered-in-russias-arctic-guardian-a71877; https://www.independent.co.uk/environment/methane-arctic-seabed-greenhouse-gas-emissions-climate-siberian-shelf-study-expedition-b1396150.html; https://tass.com/economy/1028373), и многие другие СМИ.

[85] *Крылов А.А. и др.* Сейсмотектоника и сейсмичность Лаптевоморского региона: состояние вопроса и первый опыт годичной постановки донных сейсмостанций на шельфе // Вулканология и сейсмология. 2020. № 6. С. 33–49.

заинтересованных стран (в первую очередь Индии, Японии, Китая, США) направлены на выявление природы формирования и разрушения гидратов, что важно не только для оценки климатического эффекта от их дестабилизации — возможного усиления парникового эффекта, но и для разработки технологий, направленных на коммерческое освоение природных гидратов, запасы которых многократно превышают известные запасы конвенционного углеводородного топлива (уголь, нефть, природный газ).

В этом направлении совместные работы авторского коллектива и европейских коллег являются лидирующими[86]. Отметим, что 1 марта 2021 г. в журнале «Proceedings of National Academy of Sciences of the USA»[87] была опубликована новая работа, в которой показано, что основным источником в МВА является термогенный метан, т.е. метан глубинного геологического происхождения. Это открытие неминуемо приведет к переоценке метанового потенциала МВА и значительному усилению ожидаемой роли положительной обратной связи в климатической системе, которая обусловлена увеличением эмиссии метана в атмосферу вследствие прогрессирующей деградации подводной мерзлоты — дестабилизации гидратов.

Исследования вносят существенный вклад в формирование стратегии, направленной на адаптацию к быстрым климатическим изменениям в масштабе жизни одного поколения.

Мировое сообщество пришло к выводу, что последствия деградации мерзлоты на суше и на арктическом шельфе могут привести к быстрым климатическим изменениям, что обусловлено вовлечением древнего органического вещества, включая гигантские запа-

[86] *Sapart C.J., Shakhova N., Semiletov I. et al.* The Origin of Methane in the East Siberian Arctic Shelf Unraveled with Triple Isotope Analysis // Biogeosciences. 2017. Vol. 14. No. 9.

[87] *Steinbach J., Holmstrand H., Shcherbakova K., Kosmach D. et al.* Source Apportionment of Methane Escaping the Subsea Permafrost System in the Outer Eurasian Arctic Shelf // PNAS. March 9, 2021. Vol. 118. No. 10. e2019672118.

сы метана в форме гидратов, законсервированного в мерзлоте, в современные биогеохимические циклы. Национальная программа США по выявлению и оценке процессов, ответственных за быстрые климатические изменения, была инициирована Министерством энергетики[88], а в 2008 г. был создан научный консорциум из шести Национальных лабораторий[89].

Негативный экономический эффект, обусловленный выбросом в атмосферу незначительной доли (1–5%) от предполагаемого метанового потенциала газогидратов (консервативная оценка) шельфа МВА, оценивается авторитетными международными организациями от 80 млрд долл. США в год с основным ущербом (до 90%) на территории РФ[90]; до 60 трлн долл. США в год в конце следующего столетия[91] с основным ущербом в экономически отсталых странах Африки. Отсюда следует, что в долговременной перспективе дестабилизация только предполагаемого потенциала гидратов МВА, который контролируется состоянием подводной мерзлоты[92], может нанести существенный ущерб социально-экономическому развитию не только РФ, но и других стран мира.

Из вышеизложенного очевидно, 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

---

[88] U.S. Department of Energy's Office of Biological and Environmental Research.

[89] IMPACTS: On the Threshold of Abrupt Climate Changes // Berkeley Lab. 2008. <https://newscenter.lbl.gov/2008/09/17/impacts-on-the-threshold-of-abrupt-climate-changes/> (дата обращения 22.03.2021).

[90] Climate Vulnerability Monitor // Dara Climate Vulnerable Forum. 2012. <go.nature.com/vnlzax> (accessed 22.03.2021); *Hoberg J., Ascui F.* Arctic: Warming Impact Is Uneven // Nature. 2013. Vol. 500. P. 529.

[91] *Whiteman G., Hope Ch., Wadhams P.* Climate Science: Vast Costs of Arctic Change // Nature. 2013. Vol. 499. No. 7459. P. 401.

[92] *Shakhova N.E., Semiletov I.P.* Methane Hydrate Feedbacks; *Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Joussupov V., Kosmach D., Gustafsson O.* Extensive Methane Venting...; *Shakhova N.E., Alexeev V.A., Semiletov I.P.* Accessing Future Increase in Methane Emission...; *Shakhova N., Semiletov I., Leifer I., Sergienko V. et al.* Ebullition and Storm-Induced Methane Release...

странах ЕС в последние годы выделяются гранты в размере десятков миллионов долларов США, что многократно превышает объемы финансирования этого направления исследований в РФ.

Глобальная значимость проблемы иллюстрируется списком привлеченных к программе быстрых климатических изменений Национальных лабораторий (Argonne, Los Alamos, Lawrence Berkeley, Lawrence Livermore, Oak Ridge, Pacific Northwest), который близок к списку ключевых лабораторий, ведущих разработки по созданию ядерного оружия в США в XX столетии. Как следует из стратегической концепции программы исследований IMPACTS (Investigation of the Magnitudes and Probabilities of Abrupt Climate Transitions), два из четырех ключевых типов быстрых климатических изменений связаны с деградацией мерзлоты на суше и на шельфе с фокусом на дестабилизации метановых гидратов Северного Ледовитого океана, а также выявлении обратных связей в климатической системе, которые обусловлены деградацией мерзлоты на суше и перекачкой древнего органического вещества в арктической системе «суша — шельф».

Об опасности возрождения колониальной науки в области исследования Арктики

Отсутствие эффективной межведомственной координации исследований этой проблемы в российской Арктике и доминирование иностранного финансирования над российским может привести к утрате лидирующей роли российских ученых, несмотря на имеющиеся достижения и успехи, полученные в настоящее время.

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». Это предложение рассматривается в межправительственном Арктическом совете при поддержке Минвостокразвития России и МИД России, а данное направление исследований стало одним из приоритетов российского председательства в Арктическом совете в 2021–2023 гг. На национальном

уровне результаты проекта планируется использовать для выработки мер по сохранению человеческого потенциала и снижению ущерба морским экосистемам российской части Арктики, а также для использования при разработке решений по повышению безопасности освоения ресурсов шельфа и эксплуатации Северного морского пути.

В рамках Научного центра мирового уровня (НЦМУ), созданного в НИУ ВШЭ, планируется осуществить крупнейший в истории изучения Северного Ледовитого океана исследовательский проект, основанный на объединении интеллектуальных и материальных возможностей ученых РФ и Швеции, включая новую инициативу Шведского Полярного секретариата и Стокгольмского университета («Eurasian-Arctic Shelf-Basin Interactions of Climate-Cryosphere-Carbon-Contaminants»), которая даст ответы на крупнейшие вызовы современности в области реакции гидросферы (Северный Ледовитый океан, Великие Сибирские реки) и криосферы (подводная и наземная мерзлота, морской лед) на современные и будущие климатические изменения в контексте биогеохимических и экологических изменений в арктической системе «суша — шельф — океан — атмосфера». 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 станет существенным вкладом РФ в результаты российского председательствования в Арктическом совете в 2021–2023 гг.

Выводы и рекомендации

Как показано выше, несмотря на предпринимаемые значительные усилия в области модернизации российской науки, в РФ отсутствует научная кооперация, способная проводить на мировом уровне исследования процессов, которые могут вызвать масштабные изменения климата за короткий промежуток времени.

В связи с этим Правительству РФ можно рекомендовать поддержать международное лидерство в области исследования и оценки ключевых процессов, вызывающих изменения климата за короткий промежуток времени вследствие возрастающей эмиссии

парниковых газов, обусловленной деградацией мерзлоты, которая наиболее ярко и контрастно проявляется на арктическом шельфе — в подводной мерзлоте МВА и в водосборах Великих Сибирских рек (Обь, Енисей, Лена, Яна, Индигирка, Колыма), общая площадь которых соизмерима с акваторией Северного Ледовитого океана.

В рамках реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития РФ и климатических изменений[93] целесообразно создать Национальный консорциум для изучения климатических и экологических последствий деградации мерзлоты (далее — Консорциум). Научным центром для создания такого консорциума мог бы стать НЦМУ. Солидная научная база для укрепления лидирующей роли РФ в международной кооперации по решению вышеупомянутых проблем создана.

Создание Консорциума позволит:

• исследовать и количественно оценить потенциал шельфа морей Восточной Арктики в качестве одного из мощнейших источников поступления в атмосферу метана в ближайшем будущем;

• понять механизм взаимодействия между современным потеплением — деградацией подводной мерзлоты — потоками основных парниковых газов (CO_2 и CH_4);

• оценить запасы метана в газовых гидратах для возможного использования в экономике в средне- и долгосрочной перспективе (по мере совершенствования технологий).

Среди основных ожидаемых результатов деятельности предлагаемого Консорциума можно выделить пересмотр современного баланса атмосферного метана, который не учитывает вклада поступления метана из морей Восточной Арктики и как минимум соизмерим с антропогенным выбросом метана с территории индустриального лидера — США[94]. Кроме того, предполагаются выяв-

---

[93] Указ Президента РФ от 08.02.2021 № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений» (вместе с «Положением о совете по реализации Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы»).

[94] *Miller S.M., Wofsy S.C., Michalak A.M., Kort E.A. et al.* Anthropogenic Emissions of Methane in the United States.

ление и оценка положительных и отрицательных обратных связей между природными и антропогенными процессами, определяющими функционирование арктической климатической системы. Это станет существенным вкладом России в изучение Арктики и результатом председательства нашей страны в Арктическом совете в 2021–2023 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижение глубокой декарбонизации экономики России, необходимой для выполнения целей Парижского соглашения, возможно при росте ВВП на душу населения в 3 раза за период с 2020 по 2050 г., обеспечении энергетических потребностей, развитии транспортных услуг, достижении целевых показателей ресурсоэффективности строительства коммерческой недвижимости и жилья. Россия обладает огромным потенциалом использования возобновляемых источников, других «зеленых» решений и инновационных технологий в промышленности и строительстве. Существуют технологии повышения эффективности традиционной энергетики, создания экологически эффективных транспортных систем, управления отходами, развития экологически безопасного сельского и ведения устойчивого лесного хозяйства. Переход к безуглеродной экономике при соответствующем стимулировании структурных и технологических изменений принесет значительные социальные, экономические и экологические выгоды, включая рост занятости в высокотехнологичных отраслях, снижение рисков для здоровья в связи с загрязнением окружающей среды, появление на мировых рынках «зеленой» продукции и услуг. Не менее важно для России предотвратить ущерб от мер углеродного протекционизма и ценообразования на выбросы CO_2 на рынках Евросоюза, Китая, Японии и других стран, взявших обязательства по достижению климатической нейтральности к 2050–2060 гг.

На государственном уровне интерес к поглощению углерода лесами (как управляемыми, так и резервными) связан с усилением роли климатической повестки в международных отношениях. Чтобы обеспечить долгосрочный вклад сектора землепользования в поглощение парниковых газов, необходимо в первую очередь финансирование мероприятий, предусмотренных Стратегией развития лесного комплекса РФ до 2030 г.: улучшение ухода за лесом в лесном фонде, охрана лесов от пожаров и болезней. Также целесообразно принятие и выполнение Стратегии развития защитного лесоразведения; усиление профилактики с/х палов; создание правовой основы для лесовыращивания на сельскохозяйственных землях. Одной из важных задач является повышение достовер-

ности оценок компонентов углеродного цикла по ландшафтам России на основе целостной и научно обоснованной системы мониторинга, включающей прямые и дистанционные наблюдения, реализуемые по международным методикам.

Лучшие практики управления территориальной резилиентностью предполагают активное участие местного сообщества в муниципальном управлении и диалоге с бизнесом, например, в лесопользовании — вовлечение активных представителей местного сообщества в территориальное планирование, разработку лесных планов. Важно не формальное наличие институтов самоуправления, а существенное участие местного сообщества с независимой позицией в ключевых решениях по вопросам развития территории. Механизм повышения территориальной резилиентности — это преодоление фрагментации интересов компаний, ведомств, отдельных поселений, уровней управления, повышение уровня доверия между ними. Важную роль играет апелляция к идентичности и коллективной памяти местного сообщества, вовлечение в развитие территории местных жителей с их историческим опытом и локальным знанием. Приоритетом должна стать организация работы с населением, система повышения осведомленности населения о взаимосвязи климатических, энергетических, экологических проблем. Подобные программы эффективно работают во многих странах, но в России такая деятельность практически не налажена.

В современной России условия работы муниципальных органов существенно ограничивают возможности участия местных сообществ в управлении. Тем не менее существует опыт вовлечения местного сообщества в формирование практик лесопользования, например, модельный лес в Прилузье (Республика Коми) или Псковский модельный лес (Псковская область). Необходима поддержка лучших практик управления территориальной резилиентностью, распространение полученного опыта для близких по условиям территорий, поддержка образовательных проектов в области территориального развития и местных инициатив.

Новые результаты исследования природно-климатической системы «подводная мерзлота — газовые гидраты» внесут решающий вклад в реализацию проектного предложения Института экологии НИУ ВШЭ «Газовые гидраты: роль в устойчивом развитии

и климатической трансформации Арктики», который поддержан Минвостокразвития России и МИД России и в настоящее время рассматривается в межправительственном Арктическом совете. На национальном уровне полученные результаты могут быть использованы для выработки мер по предотвращению георисков, связанных с освоением углеводородного потенциала арктического шельфа в контексте диагностики и предсказания состояния подводной мерзлоты и массированных выбросов пузырькового метана вследствие дестабилизации гидратов. Результаты исследования также будут способствовать выработке научно обоснованных мер по сохранению и укреплению человеческого потенциала и снижению ущерба морским экосистемам Арктики, а также мер по повышению безопасности освоения ресурсов шельфа и эксплуатации Северного морского пути.

АВТОРЫ ДОКЛАДА

Виноградова Вера Владимировна

Старший научный сотрудник лаборатории климатологии Института географии РАН, к.г.н.

Грачева Раиса Габдрахмановна

Ведущий научный сотрудник отдела географии и эволюции почв Института географии РАН, к.г.н.

Дорина Александра Леонидовна

Эксперт Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Котов Александр Владимирович

Доцент факультета географии и геоинформационных технологий Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», к.э.н.

Куричев Николай Константинович

Декан, доцент факультета географии и геоинформационных технологий Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», к.г.н.

Моргунов Борис Алексеевич

Директор Института экологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», д.г.н., профессор

Поташников Владимир Юрьевич

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

Проскурякова Лилиана Николаевна

Заместитель заведующего Лабораторией исследований науки и технологий Института статистических исследований и экономики знаний Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», к.п.н.

Птичников Андрей Владимирович

Заместитель руководителя Центра ответственного природопользования Института географии РАН, старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования Института географии РАН, к.г.н.

Сафонов Георгий Владимирович

Директор Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», доцент факультета мировой экономики и мировой политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», к.э.н.

Сафонова Юлия Артуровна

Эксперт Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Семакина Анастасия Алексеевна

Аспирант факультета экономических наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Семилетов Игорь Петрович

Член-корреспондент РАН, эксперт Института экологии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», д.г.н.

Сизонов Антон Геннадьевич

Аспирант факультета мировой экономики и мировой политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Стеценко Андрей Владимирович

Заместитель директора по административной работе Центра экономики окружающей среды и природных ресурсов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», к.э.н.

Фролов Иван Дмитриевич

Студент Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Черенкова Елена Анатольевна

Старший научный сотрудник лаборатории климатологии Института географии РАН, д.г.н.

Шахова Наталья Евгеньевна

Ведущий научный сотрудник Международной научно-образовательной лаборатории изучения углерода арктических морей Национального исследовательского Томского политехнического университета, д.г.-м.н., профессор

Научное издание

Устойчивое развитие в период пандемии: природные ресурсы, изменение климата и резилиентность территорий

Доклад НИУ ВШЭ

Формат 60×88 1/16
Гарнитура Newton. Усл. печ. л. 4,6. Уч.-изд. л. 3,9
Изд. № 2515

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

XXII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества 2021

Высшая школа экономики
Национальный исследовательский университет

СБЕР

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ПАРТНЕРЫ

НОРНИКЕЛЬ

THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP

ЭНДАУМЕНТ-ФОНД НИУ ВШЭ

музей СОБРАНИЕ

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

ТАСС

РОССИЯ 24

ГЕНЕРАЛЬНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО

РИА НОВОСТИ

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

интерфакс
МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ГРУППА

a news
БОЛЬШЕ ЧЕМ СМИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ РАДИОПАРТНЕР

87,5 BUSINESS FM
первое деловое радио

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

Российская Газета

ИЗВЕСТИЯ IZ

VTimes

NEWS.RU

Эноб.
snob.ru

Индикатор

ОТР
ОБЩЕСТВЕННОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ РОССИИ

деловой еженедельник профиль

Парламентская газета
Газета Федерального Собрания Российской Федерации

ФИНАМ

Инвест-Форсайт
ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

ECONS

НОП
Нефтяной общероссийский портал

ПОЛИТ.РУ

ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ Научная Россия

Агентство Социальной Информации

журнал стратегия

ИНДУСТРИЯ ЕВРАЗИИ