

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 1608-5043 (Print)
ISSN 1608-5078 (Online)

ГЕОРЕСУРСЫ

Т. 23. № 3. 2021
Часть 1

www.geors.ru

К Международной научно-практической конференции
«Решение Европейского союза о декарбонизации
и новая парадигма развития
топливно-энергетического
комплекса России»

31 августа –1 сентября 2021 г., Казань



В НОМЕРЕ:

• Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России.....3

Б.Н. Порфирьев, А.А. Шилов, А.Ю. Колпаков

• Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации.....8

Д.К. Нургалиев, С.Ю. Селивановская и др.

ТАТАРСТАНСКИЙ
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКИЙ
ФОРУМ



Журнал «Георесурсы» – рецензируемое научно-техническое издание. Издаётся с 1999 года.

Журнал индексируется:

- Scopus
- Web of Science (ESCI)

Полнотекстовая электронная версия журнала в открытом доступе: www.geors.ru, elibrary.ru

Главный редактор

Ситдикова Л.М. – к.геол.-мин.н., доцент,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия

Приглашенный научный редактор

Крюков В.А. – д.экон.н, профессор, академик РАН
Институт экономики и организации промышленного
производства Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

Редакционная коллегия

Алтунина Л.К., Институт химии нефти СО РАН,
Томск, Россия

Баренбаум А.А., Институт проблем нефти и газа РАН,
Москва, Россия

Лаломов А.В., Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

Муслимов Р.Х., Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Казань, Россия

Нургалеев Д.К., Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Казань, Россия

Ступакова А.В., Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Храмченков М.Г., Казанский (Приволжский) федеральный
университет, Казань, Россия

Хуторской М.Д., Геологический институт РАН,
Москва, Россия

Burganov B., Department of Physics, ETH Zurich,
Zurich, Switzerland

Delamaide E., IFP Technologies (Canada) Inc., Calgary, Canada

Kayal J.R., Institute of Seismological Research,
Gandhinagar, India

Koning T., Independent Consultant, Calgary, Canada

Vandenberghe N., K.U. Leuven University, Leuven, Belgium

Редакция

Заместитель Главного редактора – Ответственный секретарь:
Христофорова Д.А.

Технический редактор: Николаев А.В.

Специалист по компьютерной верстке: Абросимова И.С.

Специалист по переводу: Муравьев А.В. Веб-редактор: Сабиров А.П.

Адрес редакции и издателя: Россия, 420012, Казань,
ул. Маяковского, 10-1. Тел: +7 843 2390530. e-mail: mail@geors.ru

Учредитель: Христофорова Д.А. **Издатель:** ООО «Георесурсы»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38832, выдано
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Периодичность выпуска журнала: 4 раза в год

Дата выхода в свет 30.08.2021. Тираж 1000. Свободная цена
Отпечатано в АО «Издательский Дом «Казанская Недвижимость»
420029, Россия, Казань, ул. Сибирский тракт, д.34, корп. 4, оф. 324

При цитировании ссылка на журнал «Георесурсы» обязательна

© 2021 Научно-технический журнал «Георесурсы»
Под изданием ООО «Георесурсы»
Материалы журнала доступны под лицензией Creative Commons
Attribution 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Т. 23. № 3. 2021
Часть 1

Содержание

Выпуск приурочен к Международной научно-практической конференции «Решение Европейского союза о декарбонизации и новая парадигма развития топливно-энергетического комплекса России» (31 августа–1 сентября 2021 г., Казань)

Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России 3
Б.Н. Порфирьев, А.А. Широков, А.Ю. Колтаков

Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации 8
Д.К. Нургалеев, С.Ю. Селивановская, М.В. Кожевникова, П.Ю. Галицкая

Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации 17
В.А. Крюков, Д.В. Миляев, А.Д. Савельева, Д.И. Душенин

О возможностях запуска регионального пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики в Республике Татарстан 24
И.А. Макаров, Е.Э. Музыченко

О первоочередных мерах повышения инвестиционной привлекательности нефтепоисковых работ в условиях энергоперехода 32
А.В. Соколов

Поглощение углерода лесами регионов Поволжья и Сибири: состояние и перспективы 36
А.И. Пыжжев, Е.А. Ваганов

От ковидного «сегодня» к низко-углеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики 42
А.М. Мастепанов

Глобальный энергетический переход: проблемы и возможности – перспектива из Северной Америки 53
Т. Кенинг

Key title: «Georesursy». **Parallel title:** «Georesources»

V. 23. Is. 3. 2021
Part 1

Editor in Chief: Lyalya M. Sitdikova

Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

Visiting Science Editor: Valeriy A. Kryukov

Institute of Economics and Industrial Engineering
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russian Federation

Editorial Board

Lyubov K. Altunina, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian
Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

Azary A. Barenbaum, Institute of Oil and Gas Problems
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Bulat Burganov, Department of Physics, ETH Zurich,
Zurich, Switzerland

Eric Delamaide, IFP Technologies (Canada) Inc., Calgary, Canada

Jnana Ranjan Kayal, Institute of Seismological Research,
Gandhinagar, India

Maxim G. Khrumchenkov, Kazan Federal University, Kazan,
Russian Federation

Mikhail D. Khutorskiy, Institute of Geology of the Russian
Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Tako Koning, Independent Consultant, Calgary, Canada

Renat Kh. Muslimov, Kazan Federal University, Kazan, Russian
Federation

Alexander V. Lalomov, Institute of Geology of Ore Deposits,
Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy
of Science, Moscow, Russian Federation

Danis K. Nurgaliev, Kazan Federal University, Kazan,
Russian Federation

Antonina V. Stoupakova, Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russian Federation

Noel Vandenberghe, K.U. Leuven University, Leuven, Belgium

Editorial office:

Deputy Chief Editor: Daria Khristoforova.

Editor: Irina Abrosimova. Prepress by Alexander Nikolaev.

Translator: Alexander Myraviev. Web-editor: Artur Sabirov.

Publisher: Georesursy LLC

Editorial and Publisher's address:

1-10, Mayakovskiy st., Kazan, 420012, Russian Federation

Phone: +7 843 2390530, e-mail: mail@geors.ru

Georesursy (Georesources) is a peer-reviewed scientific and
technical journal published since 1999.

The journal is included/indexed in:

- **Scopus;**
- **Web of Science (ESCI);**
- **Directory of Open Access Journals (DOAJ);**
- **CAS (Chemical Abstracts Service) databases;**
- **GeoRef database;**
- **EBSCOhost™ databases;**
- **Ulrich's Periodicals Directory.**

The full-text e-versions of the articles are available on: www.geors.ru
All the materials of the journal Georesursy (Georesources) are available
under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Registered by the Federal Service for Supervision
of Communications and Mass Media No. PI FS77-38832

The Journal is issued 4 times a year. Circulation: 1000 copies
Issue date: August 30, 2021

© 2021 Scientific and Technical Journal Georesursy (Georesources)
Published by Georesursy LLC

Table of Contents

**Issue is devoted to the International Scientific
and Practical Conference “Decarbonization in
the European Union and New Paradigm for the
Development of Fuel & Energy Complex in Russia”
(August 31–September 1, 2021, Kazan, Russian Federation)**

**Comprehensive approach to the strategy of low-
carbon socio-economic development of Russia3**
B.N. Porfiriev, A.A. Shirov, A.Yu. Kolpakov

**Some challenges and opportunities for Russia and
regions in terms of the global
decarbonization trend.....8**
*D.K. Nurgaliev, S.Yu. Selivanovskaya, M.V. Kozhevnikova,
P.Yu. Galitskaya*

**Challenges and responses of the economy
of the Republic of Tatarstan to decarbonization
processes.....17**
V.A. Kryukov, D.V. Milyaev, A.D. Savelieva, D.I. Dushenin

**On the possibilities of launching a regional pilot
project for the development of a low-carbon
economy in the Republic of Tatarstan.....24**
I.A. Makarov, E.E. Muzychenko

**On top-priority measures to improve
the investment attractiveness of oil prospecting
in energy transition32**
A.V. Sokolov

**Carbon absorption by forests in the Volga
region and Siberia: state and prospects36**
A.I. Pyzhev, E.A. Vaganov

**From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”:
analysis of foreign forecasts for the
development of world energy42**
A.M. Mastepanov

**The global energy transition:
challenges and opportunities – a perspective
from North America.....53**
T. Koning

Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России

Б.Н. Порфирьев*, А.А. Широ́в, А.Ю. Колпаков
Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

В статье рассматриваются ключевые риски реализации стратегии долгосрочного социально-экономического развития России с низким уровнем эмиссии парниковых газов. В последние годы климатическая повестка является важнейшим драйвером структурных сдвигов в мировой экономике и рассматривается рядом ведущих стран в качестве фактора интенсификации экономического роста и закрепления своего технологического лидерства на глобальном уровне. В таком контексте усилия России по снижению углеродного следа без прямого импорта низкоуглеродных технологий и оборудования из развитых стран будут наталкиваться на непризнание (поглощающей способности российских лесов, безуглеродности АЭС и ГЭС) и рост требований по еще более радикальному снижению эмиссий. При этом Россия уже сейчас формирует значительный вклад в достижение целей Парижского соглашения по климату. В статье приведен перечень мер, который должен лежать в основе взвешенной национальной климатической политики. Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем эмиссии парниковых газов должна предусматривать соблюдение баланса между решением проблем сохранения населения, улучшения качества его жизни, и обеспечением динамичного и инклюзивного экономического роста в стране. Потенциальное заявление России о принятии обязательств по однозначному достижению углеродной нейтральности к середине века несет серьезные риски для национальных интересов. Вместо этого следует использовать более гибкую формулировку о стремлении к достижению углеродной нейтральности.

Ключевые слова: экономический рост, Парижское соглашение, климатическая политика, механизм трансграничного углеродного регулирования, низкоуглеродное развитие, углеродная нейтральность.

Для цитирования: Порфирьев Б.Н., Широ́в А.А., Колпаков А.Ю. (2021). Комплексный подход к стратегии низкоуглеродного социально-экономического развития России. *Георесурсы*, 23(3), с. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>

Разработка и осуществление национальных стратегий социально-экономического развития с низким уровнем эмиссии парниковых газов (далее – Стратегии) предусмотрены требованиями Парижского соглашения по климату. Эти Стратегии рассматриваются ведущими государствами мира как инструмент (а странами ЕС – как магистральное направление) структурных сдвигов и технологической модернизации их экономик. Такая политика в решающей мере обусловлена имеющимся технологическим превосходством этих стран над конкурентами и существующим научно-техническим потенциалом, которые они стремятся упрочить и расширить за счет новой «климатической» ниши.

Интенсивно продвигаемая странами ЕС на международной арене климатическая повестка, которая на уровне политических деклараций провозглашает приоритет цели стабилизации климата (непревышения 1,5°C-го порога по сравнению с доиндустриальной эпохой) и ставит задачу достижения углеродной нейтральности, в первую очередь преследует экономические (в том числе и геоэкономические) цели. При этом решение собственно климатических проблем рассматривается как важный, но сопутствующий эффект, и политически еще более важный и выигрышный аргумент для продвижения выгодных для этих стран решений.

При этом задача достижения ЕС углеродной нейтральности амбициозна не только политически, но и экономически. Так, согласно экспертным оценкам¹, предусмотренные политикой «Европейского зеленого курса» (European Green Deal) затраты в 4 раза ниже того уровня, который необходим для сокращения эмиссий парниковых газов (далее – парниковых газов) на 55% к 2030 г. и достижения углеродной нейтральности к 2050 г. В связи с этим значительную часть издержек на осуществление «зеленого курса» руководство ЕС намерено переложить на внешних игроков. Прежде всего, на экспортеров углеродоемкой низко- и средне-технологичной продукции (включая сырьевые товары), облагая этот импорт дополнительным сбором в рамках введения так называемого пограничного компенсационного углеродного механизма (СВАМ – Carbon Border Adjustment Mechanism).

В рамках существующей логики действий ЕС использование СВАМ в качестве инструмента экономической компенсации собственных огромных издержек на технологическую модернизацию не предполагает принятия во внимание попыток введения аналогичных механизмов на российской территории, а также иных действий, демонстрирующих снижение углеродного следа в нашей стране. Хотя в существующих документах по введению СВАМ зачет национальных карбоновых сборов и декларируется, но, с высокой вероятностью, попытки такого зачета будут

* Ответственный автор: Борис Николаевич Порфирьев
e-mail: b_porfiriev@mail.ru

¹<https://www.usnews.com/news/world/articles/2020-07-21/factbox-how-green-is-the-eus-recovery-deal>

наталкиваться на рост требований со стороны властей ЕС по еще более радикальному снижению эмиссий, в том числе через игнорирование поглощающей способности российских природных экосистем, либо непризнание «зелеными» определенных видов генерации электроэнергии (АЭС, ГЭС). Единственное, на что теоретически могут пойти страны ЕС, так это на признание сокращения эмиссий в тех случаях, когда для этой цели в России будут напрямую использоваться технологии и оборудование, производимые на их территории.

В этих условиях разработка и принятие Россией Стратегии должны исходить из ряда основополагающих принципов.

Во-первых, необходимо адекватно оценивать роль нашей страны в мировой климатической политике. Россия – не только мировой лидер по снижению эмиссий парниковых газов за почти 30-летний период действия Рамочной конвенции ООН по изменению климата², не только государство с наиболее экологически и климатически чистой структурой производства электроэнергии среди крупных экономик мира (рис. 1), но и – благодаря своим природным экосистемам – один из главных мировых эколого-климатических доноров³.

Россия входит в число климатически ответственных государств мира, наиболее активно реализующих установки Парижского соглашения в части принятия добровольных обязательств (Nationally Determined Contribution – NDC) по сокращению эмиссий. Согласно Указу Президента РФ № 666 от 2020 г., такое обязательство предусматривает непревышение в 2030 г. эмиссиями отметки в 70% от уровня 1990 г. При этом, согласно новейшему (26.02.2021) докладу РКИК ООН⁴, обобщившему по состоянию на 20.12.2020 данные о NDC 75 стран мира (40% стран-участниц Парижского соглашения, на которые приходится около 30% общемировых эмиссий парниковых газов⁵), совокупный объем эмиссий парниковых газов к 2030 г. сократится всего на 0,7% по

²Эмиссии парниковых газов в России за 1990–2019 гг. снизились на 49% с учетом сектора ЗИЗЛХ – землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (на 33% без ЗИЗЛХ). Для сравнения, в ЕС за этот же период эмиссии снизились на 24%, а в США – выросли на 2%.

³Имеются в виду не только лесные экосистемы России, общемировая ценность которых увеличивается в связи с продолжающимся масштабным сведением лесов в других «легких» Земли (Амазонии), но и сохраняющиеся в нашей стране водно-болотные угодья, глобальная значимость которых обусловлена утратой в последние десятилетия 85% общемировой площади таких угодий.

⁴Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement: Synthesis Report by the Secretariat. <https://unfccc.int/documents/268571FCCC/PA/CMA/2021/2>.

⁵В числе стран, не представивших свои обновленные NDC на эту дату – крупнейшие эмиттеры: Китай, США (представили только в апреле 2021 г.) и Индия, на которые в совокупности приходится порядка 40% мировых эмиссий парниковых газов. Обновленные обязательства из числа крупнейших эмиттеров представили страны ЕС и Россия, а также Япония, Южная Корея, ключевые экономики Латинской Америки.

отношению к 1990 г. Таким образом, принятые Россией NDC до 2030 г. неправомерно считать заниженными.

Кроме того, климатическая ответственность России проявляется и в части реализации Стратегии, завершение разработки и принятие которой в России планируется в 2021 г. В настоящее время (июль 2021 г.) из 197 государств, ратифицировавших Парижское соглашение, 120 или 61% от числа «подписантов» провозгласили гонку за достижением углеродной нейтральности (race for zero) к 2050 г.⁶. Однако Стратегии низкоуглеродного развития приняты лишь в 28 странах (включая 2 малых островных государства), которые не включают тройку государств-основных эмитентов парниковых газов: Китай, США⁷ и Индию, на которые приходится половина мировых эмиссий. Таким образом, Россия не является государством, которое значительно отстает от действий мирового сообщества в области защиты климата.

Во-вторых, Стратегия должна исходить из национальных интересов, а также целей развития России до 2030 г. (определенных указами Президента РФ № 204 от 2018 г. и № 474 от 2020 г.). Они корреспондируются с целями устойчивого развития ООН до 2030 г. и предусматривают соблюдение стратегического баланса между (а) решением проблем сохранения населения, улучшения качества его жизни, и (б) обеспечением динамичного и инклюзивного экономического роста. Устойчивый рост является главным финансовым источником решения социальных, экологических и климатических проблем, а его ключевым драйвером в среднесрочной перспективе

Средняя углеродоемкость электроэнергии в 2018 году, г CO₂ / кВтч

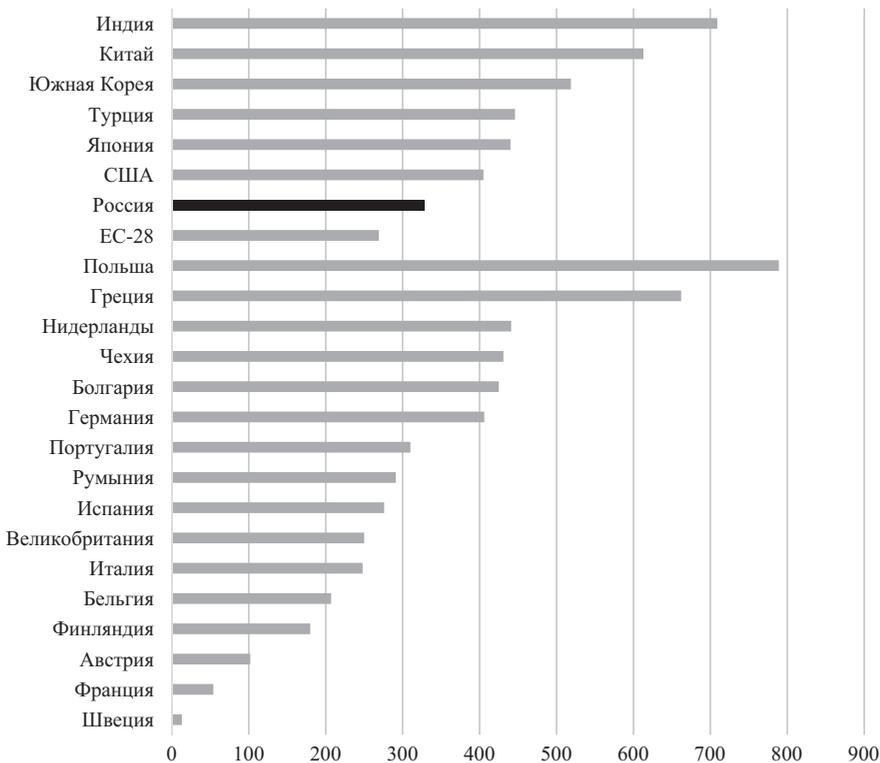


Рис. 1. Сравнение углеродоемкости электроэнергии, произведенной в разных странах в 2018 г. Источник: оценки ИИП РАН на основе данных МЭА, Росстата

⁶<https://climateaction.unfccc.int/views/cooperative-initiative-details.html?id=94>

⁷Принятая в 2016 г. правительством президента Б. Обамы стратегия была отменена при президенте Д. Трампе и, насколько известно, пока не легитимизирована правительством Д. Байдена.

являются инвестиции. В соответствии с этим, решение задач по снижению климатических рисков в целом не должно быть самоцелью или доминантой, но органичной и важной составляющей комплекса целей устойчивого развития России. При этом обеспечение низкого уровня эмиссий парниковых газов должно быть интегрировано (как и решение экологических проблем и задач адаптации к климатическим изменениям) в общую стратегию долгосрочного социально-экономического развития страны.

В-третьих, для достижения национальных целей развития и защиты национальных интересов Стратегия должна предусматривать комплекс мер, направленных:

– во *внутриэкономической сфере* – на формирование и эффективную реализацию системы мер, в том числе:

(а) ускорение динамики экономического роста в 2021–2030 гг. и повышение энергоэффективности российской экономики – как основного фактора сокращения техногенных выбросов вредных и опасных веществ и эмиссий парниковых газов;

(б) поддержку стратегически важных секторов экономики, которые могут пострадать в случае агрессивного введения механизма СВМ в действие;

(в) полный учет и комплексную оценку поглощающей способности российских экосистем, прежде всего лесов и водно-болотных угодий, а также их экологически устойчивое использование и охрану – как основной ресурс стока углерода и фактор, обеспечивающий для России реалистичность выполнения требований Парижского соглашения в части повышения амбициозности уровня снижения эмиссий парниковых газов;

(г) увязку действий, указанных выше (в подпунктах а-в) с действиями по адаптации населения и экономики к изменениям климата, что, согласно расчетам ведущих мировых экспертов (Agrawala, 2011), обеспечивает наибольшую эффективность в терминах сокращения нетто-эмиссий парниковых газов;

– во *внешнеполитической и внешнеэкономической сферах* – на разработку и эффективное осуществление системы мер, в том числе:

(а) максимальное оттягивание сроков вступления механизмов СВМ в действие, апеллируя, прежде всего, к соблюдению норм ВТО и исключению дискриминации в отношении третьих стран при применении правил ЕС в отношении стран-членов по приоритетам энергетических технологий. Так, решения Совета Европы от 02.12.2020 не предусматривают ограничений использования странами-членами ЕС конкретных энергетических технологий для снижения эмиссий парниковых газов на 55% к 2030 г. по отношению к уровню 1990 г. Отмечено, что ЕС «будет уважать право государств-членов определять свой энергетический баланс и выбирать наиболее подходящие технологии для коллективного достижения климатической цели 2030 года, включая переходные технологии, такие как природный газ»⁸. Совершенно иной подход к другим странам: разработанная Европейской комиссией в феврале 2021 г. новая стратегия торговой политики для

ЕС предусматривает ни много, ни мало реформирование ВТО, усиление регулирующего влияния ЕС, применяя «более жесткий, более настойчивый подход к выполнению и обеспечению соблюдения партнерами своих торговых соглашений»⁹.

(б) взаимодействие с ведущими мировыми экономиками-реципиентами рисков СВМ, прежде всего с Китаем и США – основными торговыми партнерами ЕС, поставляющие европейским странам в том числе и товары с заметным углеродным следом;

(в) взаимодействие с развивающимися странами, отличающимися высокими темпами сведения национальных лесов (прежде всего, с Бразилией, Индонезией) по оценке перспектив и возможному формированию совместной переговорной позиции в отношении зачета лесных проектов, реализуемых в развитых странах. Указанная позиция может опираться на те же принципы, что и СВМ, учитывающий углеродный след торгуемых товаров и услуг, но применительно к учету и компенсации отрицательного влияния спроса развитых стран (ЕС, США) на импортные поставки из развивающихся стран продовольствия, древесины и других товаров и услуг, производство которых сопряжено с замещением и сокращением площадей лесных, мангровых и других природных экосистем – главных резервуаров стока углерода.

Только в 2015 г. такой импорт государствами «Большой семерки» стимулировал чистую потерю в развивающихся странах 20 тыс. кв. км лесов, прежде всего тропических, отличающихся наиболее высоким поглощающим углерод потенциалом, при том, что в самих государствах G7 площадь, покрытая лесами, увеличивалась каждый год в период 2001–2015 гг. Например, в 2015 г. в Великобритании, Германии и Франции площади их национальных лесов увеличились, соответственно, на 170, 20 и 1130 кв. км. При этом вклад их импорта в сокращение лесов в развивающихся странах составил, соответственно, –1629, –3101 и –1175 кв. км; в том числе, доля тропических лесов в указанном сокращении площади достигала 42%, 52% и 52%, соответственно (Hoang, Kanemoto, 2021).

Результаты выполненных в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН модельных расчетов показывают, что следование Россией перечисленным принципам позволяет иметь объем накопленных нетто-эмиссий парниковых газов в следующие 30 лет ниже аналогичного показателя для ЕС, что соответствует целевым значениям, озвученным Президентом России В.В. Путиным в ежегодном послании Федеральному собранию 21.04.2021 (Порфирьев, 2021).

Что касается СВМ, то на первых этапах его применения потери российских экспортеров при цене углеродных единиц в размере 50 евро/тCO₂-экв. могут составить порядка 1 млрд евро в год (менее 1% выручки), хотя постепенно, по мере увеличения облагаемой базы (за счет отмены системы «бесплатных» квот на эмиссии внутри ЕС и расширения номенклатуры продукции, подлежащей уплате СВМ – например, углеводороды пока планируется вывести за периметр механизма), эти потери будут расти и могут достигать 7 млрд евро в год (при условии обложения всего спектра сырьевых товаров). Очевидно, что при прочих равных условиях значимая потеря рентабельности может привести к снижению объема

⁸<https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/12/11/european-council-conclusions-10-11-december-2020>

⁹https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5bf4e9d0-71d2-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

поставок. Таким образом, действия стран ЕС по изъятию доходов внешних поставщиков в определенной степени ограничены их потребностью в импортных товарах, которые они сами не способны произвести – это не только энергетические, но и в целом широкая номенклатура сырьевых товаров.

В целом степень реагирования России на риски введения СВМ должны соответствовать масштабам этих рисков. Например, по нашим оценкам, предложения о введении внутренних углеродных сборов в России и широкомасштабном строительстве генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) являются избыточными. Здесь важно подчеркнуть, что углеродный след российского экспорта в ЕС на 80% обусловлен прямыми эмиссиями (то есть непосредственной деятельностью компаний-поставщиков), тогда как на косвенные эмиссии, содержащиеся в покупаемой электроэнергии, приходится только 14%, в тепле – 6%. Поэтому реализация программы Договора о предоставлении мощностей ВИЭ по строительству генерации на основе возобновляемых источников в рамках Единой энергетической системы (ЕЭС) России будет способствовать снижению всего 14%-й составляющей суммарного углеродного следа. Если же бизнес считает целесообразным снижать свой прямой углеродный след с помощью установки собственной ВИЭ-генерации, то ситуация меняется. Однако навязывание бизнесу «общесистемной» реакции, которая, помимо своей избыточности, несомненно выльется в рост издержек на электроэнергию, является не совсем верным способом поддержки. К слову, чтобы полностью «озеленить» косвенный углеродный след «евроориентированных» экспортеров, ЕЭС России достаточно произвести объем безуглеродной электроэнергии в размере 4% общей выработки в стране. В настоящее время мощностей ВИЭ недостаточно для покрытия указанных объемов, но суммарная выработка на атомных и гидроэлектростанциях составляет 36% произведенной электроэнергии (табл. 1), то есть более чем достаточно для демпфирования претензий с европейской стороны. Если же России не удастся договориться с ЕС о признании безуглеродности АЭС и ГЭС, и будет сделан выбор в пользу строительства новых мощностей ВИЭ, то обозначенный выше 4%-й индикатор необходимо использовать как максимальный

	Объем, млрд кВтч	Доля от производства электроэнергии в России (%)
Электроэнергия, содержащаяся в ключевых товарных позициях российского экспорта в ЕС	45,1	4,0
Выработка электроэнергии в России на основе безуглеродных источников	407,6	36,3
ВИЭ	2,0	0,2
ГЭС	196,6	17,5
АЭС	209,0	18,6

Табл. 1. Производство безуглеродной электроэнергии в России по сравнению с объемом, содержащимся в ключевых товарных позициях российского экспорта в ЕС в 2019 г. Источник: оценка ИИП РАН на основе статистики Росстата и ФТС России

целевой ориентир.

В контексте сказанного декларация в настоящее время Россией более жестких обязательств по снижению эмиссий парниковых газов (в сравнении с официально принятыми) может создать дополнительные ощутимые риски для российской экономики. Прежде всего потому, что Парижское соглашение уже предусматривает принцип повышения амбициозности соответствующих обязательств для стран-участников. Это означает, что, приняв сейчас на себя обязательство снизить нетто-эмиссии парниковых газов, например, до 60–65% от уровня 1990 г., Россия уже на рубеже 2025 г. может оказаться перед необходимостью дальнейшего ужесточения обязательств и дополнительного сокращения эмиссий, серьезно рискуя войти в противоречие с целями национального развития, включая устойчивый и инклюзивный экономический рост и пакет важнейших социальных гарантий государства по обеспечению достойного уровня и качества жизни граждан.

С не менее серьезным риском для национальных интересов России связано принятие ею сейчас конкретных обязательств по *однозначному* достижению углеродной нейтральности (нулевых эмиссий парниковых газов) к 2050 г. Это может создать предпосылки для дополнительного давления на отечественную экономику со стороны развитых стран, в том числе через настойчивые призывы и требования использования Россией графиков и «дорожных карт» выполнения этого обязательства, а затем – жесткого контроля их исполнения и соблюдения.

При этом наша страна может оказаться под риском понести ощутимые политические и репутационные издержки. В этой связи следует отметить, что, по нашим оценкам, лишь 50% необходимого снижения выбросов для достижения углеродной нейтральности в 2050 г. могут быть достигнуты за счет повышения эффективности использования энергоресурсов и иных действий в экономической сфере. Остальные 50% должны быть обеспечены ростом поглощающей способности российских экосистем. В последнем случае такое снижение требует верификации и официального признания со стороны мирового сообщества, на что в скором времени – учитывая текущее состояние международных отношений в целом и отношений России с ее западными «партнерами» – рассчитывать трудно, тогда как возникающие при этом для нашей страны дополнительные риски вполне очевидны.

В сложившихся обстоятельствах в целях максимального снижения вышеупомянутых рисков представляется целесообразным следующий комплекс мер:

– при дальнейшей эскалации темы углеродной нейтральности к 2050 г. в международных экономических отношениях и климатической политике использовать в соответствующей декларации вместо жесткой, однозначной формулировки «достижение углеродной нейтральности» более гибкую и приемлемую формулировку «о [максимальном] стремлении к достижению углеродной нейтральности». Такую или схожую формулировку использовали, в частности, Сингапур (в стратегии развития с низким уровнем эмиссий парниковых газов, 2020) и Китай (в официальном заявлении Си Цзиньпина в обращении к

¹⁰<https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/long-term-strategies>; <https://www.nytimes.com/2020/09/22/climate/china-emissions.html>

ООН о достижении [нетто] нулевых эмиссий парниковых газов в 2060 г.¹⁰. Жесткая формулировка допустима только применительно к отдельным регионам, видам экономической деятельности, предприятиям или компаниям (или их группам) исключительно по их инициативе и после тщательной научной экспертизы соответствующих проектов. Примером может служить объявление о достижении Сахалинской области углеродной нейтральности к 2025 г., сделанное Президентом России в рамках его выступления на Саммите мировых лидеров по вопросам климата в апреле 2021 г.¹¹

– в рамках указанной экспертизы провести анализ и оценку (прогноз) влияния реализации конкретных мер снижения нетто-эмиссий парниковых газов на экономическую динамику, отраслевые параметры производства, цены, уровень и качество жизни населения страны и ее регионов. Параметры такого прогноза должны быть согласованы с основными направлениями стратегии социально-экономического развития, стратегиями пространственного развития и развития ключевых секторов российской экономики. Учитывая, с одной стороны, жесткие сроки, а, с другой стороны, уже имеющиеся соответствующие аналитические материалы, такая задача могла быть решена достаточно оперативно.

¹¹<http://kremlin.ru/events/president/news/65425>

Литература

Порфирьев Б. (2021). Зеленая повестка: асимметричный ответ. *Эксперт*, 18–19, с. 19–21. <https://expert.ru/expert/2021/18/zelenaya-povestka-asimmetrichniy-otvet/>

Agrawala S. (2011). Economic aspects of adaptation: Costs, benefits and incentives for action. Presentation at the International conference “Problems of Adaptation to Climate Change”, Moscow.

Hoang N.T., Kanemoto K. (2021). Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. *Nature Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z>

Сведения об авторах

Борис Николаевич Порфирьев – академик РАН, доктор экон. наук, научный руководитель Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Александр Александрович Шишов – член-корреспондент РАН, доктор экон. наук, директор Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Андрей Юрьевич Колпаков – канд. экон. наук, старший научный сотрудник, Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН

Россия, 117418, Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Статья поступила в редакцию 15.07.2021;

Принята к публикации 02.08.2021; Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Comprehensive approach to the strategy of low-carbon socio-economic development of Russia

B.N. Porfiriev, A.A. Shirov, A.Yu. Kolpakov*

Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Corresponding author: Boris N. Porfiriev, e-mail: contact@ecfor.ru*

Abstract. The article discusses the key risks of implementing a strategy for long-term socio-economic development of Russia with a low level of greenhouse gas emissions. In recent years, the climate agenda has been the most important driver of structural shifts in the world economy and is viewed by leading countries as a factor in intensifying economic growth and consolidating their technological leadership at the global level. In this context, Russia's efforts to reduce its carbon footprint without direct import of low-carbon technologies and equipment from developed countries will run into non-recognition (of the carbon sink by Russian forests and carbon-free nature of nuclear and large hydro power plants) and increase in requirements for even more radical reduction in emissions. At the same time, Russia is already making a significant contribution to achieving the goals of the Paris Agreement. The article provides a list of measures that should underlie a balanced national climate policy. The strategy for the socio-economic development of Russia with a low level of greenhouse gas emissions should provide for a balance between solving the problems of preserving the population, improving the quality of its life, and ensuring dynamic and inclusive economic growth in the country. Russia's potential announcement of commitments to unequivocally achieve carbon neutrality by mid-century carries serious risks to national interests. Instead, a more flexible language should be used to strive for carbon neutrality.

Keywords: economic growth, Paris Agreement, climate policy, Carbon Border Adjustment Mechanism, low-carbon development, carbon neutrality

Recommended citation: Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. (2021). Comprehensive approach to the strategy of low-carbon

socio-economic development of Russia. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>

References

Agrawala S. (2011). Economic aspects of adaptation: Costs, benefits and incentives for action. Presentation at the International conference “Problems of Adaptation to Climate Change”, Moscow.

Hoang N.T., Kanemoto K. (2021). Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests. *Nature Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01417-z>

Porfiriev B. (2021). Green Agenda: Asymmetric Response. *Ekspert*, 18–19, pp. 19–21. (In Russ.). <https://expert.ru/expert/2021/18/zelenaya-povestka-asimmetrichniy-otvet/>

About the Authors

Boris N. Porfiriev – DSc (Economics), Academician of the Russian Academy of Sciences, Academic Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences
47, Nakhimov ave., Moscow, 117418, Russian Federation

Alexander A. Shirov – DSc (Economics), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences
47, Nakhimov ave., Moscow, 117418, Russian Federation

Andrey Yu. Kolpakov – PhD (Economics), Senior Researcher, Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences
47, Nakhimov ave., Moscow, 117418, Russian Federation

Manuscript received 17 July 2021;

Accepted 2 August 2021; Published 30 August 2021

Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации

Д.К. Нургалиев, С.Ю. Селивановская*, М.В. Кожевникова, П.Ю. Галицкая
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

В статье рассматривается схема возможного сценария энергетического перехода в Российской Федерации с учетом сложившегося экономического уклада, наличия гигантской нефтегазовой инфраструктуры и уникальных природных ресурсов. Все это позволяет рассматривать глобальные тенденции декарбонизации энергетики и экономики не только как вызов, но и как новые возможности для страны. С учетом развитой инфраструктуры нефтегазодобычи, транспортировки, нефтепереработки и нефтехимии, а также наличия огромной территории, лесных, водных, почвенных ресурсов перед нашей страной открываются уникальные возможности секвестрации углерода с использованием как биологических систем, так и имеющейся нефтегазовой инфраструктуры. Предлагается использовать существующие нефтегазодобывающие мощности для генерации водорода в процессах каталитической трансформации углеводородов внутри пласта. Предлагается создать и использовать для захоронения CO₂ масштабные технологии с использованием существующей инфраструктуры нефтедобывающей отрасли. Учитывая огромный потенциал Российской Федерации в секвестрации углерода биологическими системами, создается сеть российских карбоновых полигонов, в том числе и при Казанском федеральном университете (КФУ) – полигон «Карбон-Поволжье». Создание карбоновых ферм на основе разработок, созданных в таких полигонах, может стать востребованным высокотехнологичным бизнесом. Приводится подробное описание карбонового полигона КФУ «Карбон-Поволжье» и запланированных задач.

Ключевые слова: энергетический переход, декарбонизация, генерация водорода, захоронение CO₂, секвестрация углерода биологическими системами, карбоновый полигон

Для цитирования: Нургалиев Д.К., Селивановская С.Ю., Кожевникова М.В., Галицкая П.Ю. (2021). Некоторые вызовы и возможности для России и регионов в плане глобального тренда декарбонизации. *Георесурсы*, 23(3), с. 8–16. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.2>

Введение

Полный отказ от ископаемого топлива, в том числе и от углеводородов (УВ) как источника энергии, в ближайшие десятилетия маловероятен, но нет сомнений, что тренд на декарбонизацию продолжится, а экономические уклады стран будут изменяться. Сегодня научный мир признает, что сжигание углеродного топлива является главной причиной накопления парниковых газов в атмосфере, и это приводит к повышению средней температуры на планете. Последствия этого процесса уже обнаруживаются в сильной изменчивости погодных условий, более частом наблюдении катастрофических событий и заметном потеплении в арктической зоне. Все это связано с нарушением естественных причинно-следственных связей в системе «атмосфера-океан-климат». Последующее таяние метансодержащей «вечной» мерзлоты и повышение уровня океана может привести к чрезвычайно негативным последствиям, и, вероятно, эти изменения уже нельзя остановить. К концу века средняя температура может подняться более чем на 2,7°C, хотя планируется (по Парижскому соглашению) удержать ее рост на уровне 1,7°C или хотя бы не более 2,0°C. В качестве одной из серьезных мер планируется ввести трансграничный углеродный налог в ЕС, а полученные средства направить на развитие зеленой

энергетики и компенсацию последствий «глобального потепления». Это, по сути, уникальное событие в истории цивилизации, когда глобальное стратегическое мышление, направленное на самосохранение человечества материализуется, и переводится в экономическую плоскость не только в рамках отдельного государства, но и на межгосударственном уровне. Это первый шаг в указанном направлении, но экономический инструмент инициирует ЕС, а не глобальный орган, и насколько это будет эффективно для решения задач, поставленных в Парижском соглашении, пока не понятно, время покажет. Тем не менее, раз мы уже выделяем парниковые газы в масштабах, способных изменить всю нашу планету, а не только инициировать какие-то региональные экологические проблемы, человечеству придется начать регулировать элементы этой сложнейшей системы. К сожалению, большинство государств и политических деятелей сегодня не до конца реально оценивают значение сложившейся ситуации. Наверно, легче было бы объединиться в понимании и принятии мер против астероидной опасности. Изменение климата, вызванное, по сути, сжиганием ископаемого топлива, в отличие от астероидной опасности, – это особенная проблема, которая затрагивает очень многие стороны жизни общества – обеспечение энергией, электричеством, а также доходы многих государств, добывающих это ископаемое топливо, и расходы многих государств, не имеющих этих природных ресурсов, проблемы государств, которые никакого отношения не имеют к ископаемому топливу – они их не

* Ответственный автор: Светлана Юрьевна Селивановская
e-mail: svetlana.selivanovskaya@kpfu.ru

© 2021 Коллектив авторов

производят и не пользуются ими. Интересы различных государств, международных корпораций переплетены сложным образом в этой проблеме. В преамбуле Парижского соглашения отмечается, что «Стороны могут страдать не только от изменения климата, но также от воздействия мер, принимаемых в целях реагирования на него».

Необходимо обсуждать проблему, решать ее с учетом нюансов и проблем всех участников процесса. Речь идет о новой парадигме в глобальном мышлении, когда одним из важнейших факторов при принятии решений о дальнейшем развитии государств является осознание глобальных угроз типа глобального потепления.

Очень простой пример из области экономики. Если раньше в оптимизационных расчетах стоимости продукта, целевая функция имела размерность стоимости, куда были включены разнообразные прямые и косвенные расходы, включая и экологические, то сегодня – это еще и углеродный след, выраженный в тоннах CO₂ (а сегодня уже в евро), выделенного на всех стадиях производства продукта. Причем ущерб может проявиться совершенно в другом месте, совсем не там где продукт был произведен. Этот новый фактор меняет всю экономику, а значит политику и все стороны деятельности человека на этой планете: здоровье, образование, безопасность, производство продуктов питания, одежды, жилья, минимальной окружающей инфраструктуры и др.

Мы живем в эпоху, когда в истории планеты начинается новый период – влияние одного из биологических видов начинает нарушать сложную нелинейную систему Геи (Kleidon, 2004), и чтобы произвести корректирующие действия, человечество будет вынуждено взять на себя управление процессами в океанах, недрах, лесах, тундрах и других природных объектах – всех компонентах этой системы. Геологи, стратиграфы называют этот период Антропоценом (Cagrejaní et al., 2020), хотя он больше похож на некоторые выдающиеся границы между геологическими системами, охарактеризованные уникальными глобальными событиями – массовыми вымираниями биологических видов, обусловленными самыми различными причинами. Массовое вымирание в биосфере сегодня – одно из самых значительных в истории Земли, и оно протекает чрезвычайно быстро в геологическом масштабе времени. Как же быть России в этой ситуации, что делать?

Российский энергетический переход: баланс природных ресурсов и глобальных трендов

На первый взгляд, та уверенность и решительность, с которой ЕС и многие другие страны говорят о переходе к «зеленой» энергетике, не сулит ничего хорошего России, которая сегодня обеспечивает почти 40% своего бюджета из поступлений от нефтяной промышленности. Многие российские товары, производимые на экспорт и имеющие большой «углеродный след» (сталь, алюминий, газ, нефть и нефтепродукты, сельхозпродукция и др.), будут отягощены трансграничным углеродным налогом (Carbon border adjustment mechanism – CBAM), и это не будет способствовать их конкурентоспособности на рынке. Тем не менее, можно утверждать, что данный вызов для российской экономики является одновременно и огромной возможностью.

«Зеленый» энергетический переход должен происходить в России с учетом рационального использования имеющихся природных ресурсов – углеводородных, биологических и территориальных, а также созданной нефтегазовой инфраструктуры – конкретных скважин, исследованных резервуаров, залежей УВ, всей наземной инфраструктуры, включая трубопроводы, а также нефтеперерабатывающие и нефтехимические мощности. Стратегической задачей на ближайшие 30–40 лет является обеспечение страны конкурентными на мировом рынке запасами УВ, которые необходимо добыть экологично, экономично, с низким углеродным следом.

Следующий шаг России к «зеленой» экономике – это переход к производству водорода, нового энергетического агента. Для этого необходимо создать промышленные технологии генерации водорода непосредственно в нефтегазовой залежи и захоронения образующегося CO₂ в природных резервуарах. В этом направлении ведутся работы в нескольких лабораториях в мире. В Казанском федеральном университете (КФУ) имеется успешный опыт использования катализаторов для повышения эффективности тепловых методов для добычи сверхвязкой нефти (Vakhin et al., 2020; Varfolomeev et al., 2021), также получены первые обнадеживающие лабораторные результаты непосредственно по генерации водорода внутри пласта по технологии внутрискважинного горения. Российские и зарубежные (Кувейт, Оман, Китай) нефтегазовые компании проявляют огромный интерес к этим технологиям.

Еще один шаг навстречу «зеленой» энергетике – это создание и внедрение промышленных технологий секвестрации углерода, использующих имеющиеся природные ресурсы и нефтегазовую инфраструктуру. Наличие огромной территории, лесных, водных, почвенных ресурсов открывает перед нашей страной уникальные возможности секвестрации углерода с использованием биологических систем. Кроме того, используя существующие и уже разработанные месторождения УВ, используя опыт мониторинга газовых хранилищ, необходимо реализовать секвестрацию парниковых газов, формирующихся при генерации водорода, а также в других процессах, в природных резервуарах.

Внедрение этих предложений позволит Российской Федерации не только выйти на уровень углеродной нейтральности, но и продавать значительные объемы углеродных квот и органично влиться в мировую «зеленую» экономику. Все эти предложения и предполагаемые результаты коррелируют с Национальными целями и Стратегией научно-технологического развития страны как в части обеспечения страны экологичной энергией, так и создания новых «зеленых» бизнесов и высокотехнологичных рабочих мест в области секвестрации углерода экосистемами.

Для регионов, в частности Республики Татарстан, реализация такой программы приведет к реструктуризации нефтегазодобывающей, энергетической и аграрной отраслей региона, привлечению инвестиций для этих целей, обеспечению лидерства в области генерации, хранения и транспортировки водорода. Т.е. республика может прийти к углеродной нейтральности, в том числе за счет масштабного внедрения технологий секвестрации углерода экосистемами и с использованием нефтегазодобывающей инфраструктуры.

Возможности биологической секвестрации двуокси углерода и создание Карбоновых полигонов. Возможности и задачи полигона «Карбон-Поволжье»

Ближайшей задачей в реализации предлагаемого плана на пути к «зеленой» экономике является создание Карбоновых полигонов, на которые возложены функции оценки потоков парниковых газов, и разработки эффективных технологий секвестрации диоксида углерода самими различными природными биологическими системами.

Российская Федерация является пятой страной в мире по выбросам парниковых газов, однако, развитая система их мониторинга отсутствует (Climate Analysis Indicators Tool—CAIT 2.0). При этом в странах Европейского союза уже создана интегрированная система станций наблюдений за углеродом «Integrated Carbon Observation System – ICOS». Сеть станций ICOS включает ряд измерительных станций, расположенных на территории Бельгии, Чехии, Дании, Финляндии, Франции, Германии, Италии, Нидерландов, Норвегии, Испании, Швеции, Швейцарии, Великобритании. Станции осуществляют мониторинг потоков парниковых газов либо в атмосфере (38 станций), либо над океаном (23 станции), либо в целостных экосистемах (86 станций). Наблюдения координируются головным офисом, за сбор и распространение данных ICOS и производных от них информационных продуктов отвечает Carbon Portal. Для того, чтобы определить потенциал природных систем России секвестрировать углерод, необходимо организовать всеобъемлющую систему мониторинга парниковых газов, создать систему оценки баланса углерода природных систем различных климато-географических зон. С этой целью приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №74 от 5 февраля 2021 года «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса» создается система «Карбоновых полигонов». Создание такой системы является реализацией первого этапа национального плана мероприятий по адаптации к изменению климата на период до 2022 года.

Одним из участников программы является Казанский федеральный университет (КФУ), который создает Карбоновый полигон «Карбон-Поволжье». В дальнейшем будет создана и карбоновая ферма.

Карбоновый полигон создается как часть консорциума для создания моделей изменения климата и методик учета эмиссии и поглощения климатически активных газов, определения объемов депонирования углерода наземными экосистемами. Важной частью работы станет разработка технологий долговременного депонирования углерода.

Карбоновый полигон подразделяется на два участка – лесной участок и водный. Лесной участок полигона размещается на территории Обсерватории (Зеленодольский район РТ), являющейся собственностью КФУ.

Основной тип ландшафта данного участка – липняк волюстистоосоковый с елью и дубом на дерново-подзолистых почвах, расположенные на аллювиально-деллювиальных четвертичных отложениях третьей террасы крупных рек. Видовой состав сообщества представлен липой сердцевидной (бонитет II; возраст максимальный – 106 лет, средний – 60; диаметр – 35 см, средняя высота – 24 м), елью финской (бонитет I; возраст максимальный – 109 лет, средний – 80 лет; диаметр ствола – 66 см, средняя высота

– 28 м), дубом черешчатым (бонитет II; возраст максимальный – 101 год, средний – 0 лет; диаметр – 72 см, средняя высота – 24 м). Высота кустарникового яруса составляет 2 м. Кустарниковый ярус разреженный, травянистый, напочвенный покров сплошной, высотой до 70 см, многоярусный. В подлеске присутствует бересклет бородавчатый, жимолость обыкновенная, клен платановидный, лещина.

Почвы данного участка относятся к дерново-подзолистым на аллювиально-деллювиальных отложениях с горизонтами A0 (0–3 см), A1 (3–7 см), A1A2 (7–15 см), A2 (15–37 см), B (37–70 см), CD (70–100 см). Почвы являются слабокислыми (рН водн – 6,3, рН сол – 5,6), достаточно хорошо гумусированными (гумус – 3,0 %, N – 0,18%, C/N – 9,66).

По количеству осадков район, в котором расположен лесной участок Карбонового полигона, относится к зоне умеренного увлажнения, их годовое количество составляет 552,5 мм. Наибольшее количество осадков приходится на июль (66,3 мм), а наименьшее – на март (23 мм). Число дней со снежным покровом составляет 156 дней. Устойчивый снежный покров формируется в начале ноября, исчезает в середине апреля. Высота снежного покрова достигает наибольших значений в марте – в среднем 56 см.

Промерзание почвы зимой составляет максимально 69 см. Суммарная солнечная радиация в данной районе составляет около 3900 МДж/м² за год, радиационный баланс – 1311 МДж/м², причем с ноября по февраль он отрицательный. Наиболее солнечным является период с апреля по август.

Что касается водного участка полигона, в настоящее время идет обсуждение о его наилучшем расположении.

Полигон «Карбон-Поволжье» призван решать следующие задачи: а) создание системы сбора, валидации и обработки данных, позволяющей интегрировать их в общую модель источников и стоков на территории региона и РФ; б) организация регулярных метеорологических наблюдений; в) организация регулярного дистанционного мониторинга (включая спутниковые данные) климатически активных газов; г) организация регулярных мониторинговых наблюдений за потоками основных парниковых газов и параметрами фотосинтеза и дыхания растительных сообществ и почвы.

Карбоновый полигон станет центром сбора, валидации и обработки данных и позволит интегрировать их в общую модель источников и стоков парниковых газов на территории региона и РФ. Такая система будет основой для построения количественных оценок эмиссии и депонирования парниковых газов (CO₂, CH₄, N₂O) в природных и трансформированных ландшафтах Республики Татарстан.

Другими направлениями деятельности Карбонового полигона является оценка секвестрационного потенциала естественных фитоценозов и отдельных групп растений с выявлением наиболее продуктивных сообществ и отдельных видов растений, а также адаптация растений с высоким секвестрационным потенциалом, не свойственных местной флоре, к климатическим условиям региона и разработка технологии их использования в сельском и лесном хозяйстве.

Важным результатом деятельности Карбонового полигона должно стать создание сертификационного центра специалистов по валидации и верификации учетов

парниковых газов и компенсаторных мероприятий.

Несомненна образовательная и просветительская функция полигона, заключающаяся в адаптации существующих и разработке новых бакалаврских, магистерских и аспирантских программ, организации семинаров и конференций, проводимых на базе Карбонового полигона.

Исследования и разработки Карбонового полигона базируются на накопленном российском и международным опытом. Так, на территории России в 1978 году были начаты наблюдения на Центральной полевой экспериментальной базе ФГБУ «ГГО» в Воейково (Алферов и др., 2017). Позднее были созданы станции на о. Беринга, о. Котельный, Териберга, Новый порт и Тикси. В настоящее время станции Новый Порт и Воейково, расположенные вблизи крупномасштабных источников загрязнения, используются для исследования изменчивости выбросов парниковых газов (Зинченко и др., 2001; Zinchenko et al., 2002; Макарова и др., 2006; Зинченко и др., 2008; Решетников и др., 2009). С начала 2010-х годов были начаты интенсивные исследования потоков парниковых газов методом микродинамических пульсаций и закрытых камер на Валдае и в Ленинградской области (Karelin et al., 2020; Сафонов и др., 2012; Юзбеков и др., 2014; Алферов и др., 2017). В настоящее время большое внимание уделяется оценке эмиссии парниковых газов в Арктических зонах. Так, в работе Теi с соавторами приводятся результаты сезонного измерения выделения парниковых газов в условиях вечной мерзлоты (Теi et al., 2021). В данном исследовании изучаются обменные потоки углекислого газа (CO_2) в пограничных экосистемах тайги и тундры на северо-востоке Сибири с 2013 по 2015 год. В вегетационный период (май – сентябрь) наблюдалось поглощение CO_2 в объемах $-39,4$ (от $-60,1$ до $-20,2$) гС/м^2 . Показано, что микроклиматические факторы, определяющие обменные потоки CO_2 , меняются сезонно. На них существенно влияет время начала поглощения углерода связанное, прежде всего, с температурой почвы весной и в начале лета, после чего определяющим фактором становится плотность потока фотосинтетических фотонов. В работе Holl с соавторами представлены многолетние временные ряды потоков углекислого газа в Сибирской Арктике, измеренные методом вихревой ковариации (Holl et al., 2019). Этот же метод применен для оценки объемов чистой первичной продукции и потоков энергии в болотах Западной Сибири (Aleksyichik et al., 2017). На основе измерений в мае–августе 2015 года представлены первые оценки баланса углекислого газа в типичном болоте средней тайги. Территории, на которых были проведены измерения потоков углекислого газа, представляли собой чередование поросших деревьями возвышенностей и понижений, занятых осоками и кустарниками. В течение всех четырех месяцев измерений поглощение CO_2 было сравнительно высоким и составило 202 гС/м^2 . Во время нескольких переходных периодов в июне и июле, напротив, наблюдалась эмиссия CO_2 .

Тематике экосистемного обмена углекислого газа и воды в различных типах экосистем посвящены работы Института биологии КомиНЦ УрО РАН. Для еловых лесов европейского Северо-востока России продемонстрирован хорошо выраженный с марта по октябрь суточный ход газообмена CO_2 с максимумом в полдень.

В зимние месяцы значения нетто-обмена CO_2 были положительными. Суммарное суточное значение нетто-обмена углекислого газа за сутки составило в апреле 4 , мае -62 , июне -79 , августе и сентябре -31% июльского значения. Суммарное нетто-поглощение CO_2 ельником в апреле–августе соответствовало -327 гС/м^2 . Для сосновых лесов того же региона выявлена корреляция между среднесуточными значениями гросс-фотосинтеза и суммарного испарения. Общий нетто-обмен CO_2 , гросс-фотосинтез и экосистемное дыхание в сосновом лесу были оценены в -103 , -407 и $304 \text{ гС/м}^2\text{год}$, соответственно (Загирова и др., 2020).

Как уже было указано выше, значительный вклад в круговорот углерода вносит дыхание экосистем, складывающееся из растительной и почвенной компонент (Houghton et al., 1992). Почва является одним из важнейших естественных резервуаров углерода, при этом обмен углерода между почвой и атмосферой происходит очень активно. Так, эмиссия данного газа из почвы является вторым по значимости компонентом глобального круговорота углерода и, соответственно, климатических изменений (Reth et al., 2005; Lal et al., 2018; Bernoux et al., 2005). Не случайно одной из глобальных инициатив, направленных на снижение содержания углекислого газа в атмосфере, является инициатива «4 промилли», предполагающая ежегодное увеличение секвестрируемого органического углерода в почве на 4% в слое $30\text{--}40 \text{ см}$, за счет смены сельскохозяйственных практик (Chabbi et al., 2017; Corbeels et al., 2019; de Vries, 2018; Lal, 2016; VandenBygaart, 2018).

Баланс углерода в системе «почва-припочвенный слой атмосферы» формируется процессами его эмиссии (в результате минерализации почвенного и привнесенного растениями и удобрениями органического вещества) и его накопления (в результате накопления растительного опада и другой отмершей органики, корневых выделений, а также внесения органического углерода с удобрениями).

Минерализация органического вещества осуществляется почвенными микроорганизмами и зависит как от количества и состава первого, так и от активности последних. Традиционно, содержание органического углерода в почве оценивается при агрохимических обследованиях и вместе с показателем содержания углерода в микробной биомассе свидетельствует о степени плодородия почвы. Органический углерод составляет порядка $55\text{--}60\%$ от массы органического вещества почвы (Canedoli et al., 2020). Показано, что содержание органического углерода в почве значимо зависит от ее типа, для сельскохозяйственных почв умеренного климата оно может колебаться в пределах $5\text{--}30 \text{ г кг}^{-1}$ плодородного слоя, $0,5\text{--}4,5\%$ из которых находятся в составе микробной биомассы. В целом, запасы органического углерода в данных климатических условиях составляют $15\text{--}80 \text{ т га}^{-1}$ в слое $0\text{--}20 \text{ см}$ и $5\text{--}20 \text{ т}^{-1}$ в слое $20\text{--}40 \text{ см}$ (Xie et al., 2021; Shukla et al., 2005). Еще одним фактором, влияющим на скорость минерализации органического углерода почвы, являются климатические условия, в которых она расположена (Alvarez et al., 2001; La Scala et al., 2006). В целом, запасы углерода в почве больше подвержены различным видам влияний в теплых и влажных условиях, чем в прохладных (но не морозных) и засушливых (Ogle et al., 2019).

Тип землепользования и способ обработки почвы в сельском хозяйстве влияет на интенсивность минерализации органического углерода в ней (Reicosky, 2001). Интенсификация разложения почвенного органического вещества при обработке почвы происходит из-за разрушения почвенных макроагрегатов и высвобождения «запакованного» в него углерода, доступного для микроорганизмов. Кроме того, вспашка способствует лучшему снабжению почвы кислородом, что также приводит к интенсификации процессов минерализации (Cambardella et al., 1992). Показано, что количество углерода почвы, теряемого в виде углекислого газа, коррелирует с интенсивностью разрушения агрегатов и объемами перемещенной почвы (Reicosky et al., 2007; La Scala et al., 2006). Так, например, количество выделяемого углекислого газа из почвы под посевами кукурузы составило 0,82, 0,56, 0,51 и 0,49 г м⁻²ч⁻¹ при следующих вариантах обработки: стандартная отвальная, усеченная обработка (reduced till), минимальная обработка и безотвальная обработка (McNunn et al., 2020). Замена отвального типа обработки почвы на неотвальный в течение 20 лет приводит к ежегодному приросту запасов органического углерода в почве на 0,06–0,35, 0,21–0,50 и 0,34–0,54 т га⁻¹ в условиях холодного, теплого и тропического климата соответственно. Интересно, что такая тенденция характерна лишь для верхнего плодородного слоя почвы (порядка 20–25 см) (Ogle et al., 2019). В нижележащих слоях почвы, напротив, безотвальная обработка приводит к снижению содержания органического углерода (Angers et al., 1997).

В последнее время исследователи все чаще говорят о значительном потенциале нижележащих слоев почвы для секвестрации углерода, и для обмена углерода между почвой и атмосферой в целом (VandenBygaart et al., 2011). Для получения полноценных выводов о роли нижележащих слоев почвы в накоплении углерода, а также о влиянии различных практик на его оборот в почве и между почвой и атмосферой на данный момент не хватает информации. Так, самый длинный ряд наблюдений за содержанием органического углерода в почве при отказе от отвальной обработки, составляет 45 лет, большая же часть рядов наблюдений не превышает 20 лет. Набор измеряемых параметров в этих наблюдениях различен. Вместе с тем, стабилизация сорбции выработанных микроорганизмами органических соединений после их миграции в нижележащие почвенные слои, возможно, требует более длительных сроков исследования (Cotrufo et al., 2013; Lehmann et al., 2015). Установлено, что обработка оказывает большее влияние на содержание углерода в почве на глубине до 60 см в глинистых, илистых и пылеватых почвах в тропических и субтропических климатических условиях по сравнению с песчаными почвами в тех же климатических условиях. Вместе с тем, в умеренных широтах эта тенденция обратна: именно песчаные почвы наиболее подвержены влиянию отвальной вспашки с точки зрения содержания в них углерода, в т.ч. на глубинах, превышающих глубину проникновения плуга (Ogle et al., 2019). В ряде случаев определяют не только количество углекислого газа, но и других парниковых газов, выражая суммарную эмиссию в массе т.н. CO₂-эквивалента. Но и в этом случае описанная тенденция увеличения объемов при увеличении степени воздействия на почву

прослеживается. Так, эмиссия из почвы под паром составила 520, 400 и –230 кг экв-СО₂ га⁻¹ год⁻¹, а из почвы под клевером – 100, –50, –1900 кг экв-СО₂ га⁻¹ год⁻¹ для стандартной, усеченной и безотвальной обработки соответственно (отрицательное значение соответствует поглощению, а не выделению углекислого газа) (McNunn et al., 2020).

Интересным эффектом на скорость минерализации органического вещества почвы обладает внесение удобрений. Минеральные удобрения повышают микробную активность в целом за счет привнесения лимитирующих макро- и микроэлементов и, таким образом, интенсифицируют процессы микробного разложения органического углерода в почве. С другой стороны, минеральные удобрения приводят к росту и развитию растений, интенсификации корневой эксудации, накопления растительного опада, т.е. к секвестрации углерода в почве. Смещение баланса между двумя этими процессами в сторону накопления углерода в почве является предметом большого числа научных исследований. Органические удобрения, такие как компосты из пометов и навозов, осадков сточных вод и других видов органических отходов, содержат значительное количество органического углерода и кратковременно увеличивают его запасы в почве после внесения. Однако в большинстве случаев углерод в таких удобрениях содержится в легкодоступном для микроорганизмов виде, поэтому быстро минерализуется и не накапливается в почве в долгосрочной перспективе. Более того, при внесении легкодоступных органических веществ в почву наблюдается т.н. прайминг-эффект, заключающийся в интенсификации минерализующей активности почвенной микрофлоры не только по отношению к внесенному, но и по отношению к имевшемуся в почве ранее органическому веществу. В результате, внесение органических удобрений не только не способствует увеличению запасов углерода в почве, но и наоборот – приводит к их снижению. Альтернативой указанным быстрорастворимым органическим удобрениям может стать биочар – продукт бескислородного термического разложения биомассы. Он не только способствует интенсификации роста растений, но и, являясь медленноразлагаемым удобрением, позволяет длительно сохранить углерод в почве.

Таким образом, для снижения объемов эмиссии углекислого газа в сельском хозяйстве может быть использовано снижение интенсивности обработки почвы, исключение выпаса, посев почвопокровных растений, грамотное управление севооборотом и совершенствование практик внесения удобрений (Eze et al., 2018; Olson et al., 2010; Parkin et al., 2016; Snyder, 2017) В целом, согласно оценкам, мероприятия по снижению объемов потерь почвенного органического углерода могут быть реализованы на сельскохозяйственных площадях до 57 млн га. Внедрение таких мероприятий может привести к значительно большим объемам секвестрации углерода, нежели 4%, заявленные в соответствующей инициативе. Так, ежегодная секвестрация углерода в слое 0–30 см в объеме 2–3 т га⁻¹ была достигнута за счет смены типа использования почвы, характеризовавшейся исходными запасами углерода в 19 т га⁻¹. Это составило не 4%, а 70–189 % в год (Noulèkoun et al., 2021).

Если почва не включена в сельскохозяйственный оборот, основными факторами, влияющими на накопление

органического углерода и выделение углекислого газа, становятся эрозия и аккумуляция, а также характер растительного покрова. На эродированных участках, где на поверхность выходит значительное количество минеральных частиц, наблюдается тенденция к накоплению органического углерода из-за его сорбции на этих частицах. На аккумулятивных участках также наблюдается накопление органического углерода в почве вследствие захоронения намытого плодородного слоя под минеральным, и связанного с этим снижения скорости минерализации захороненного органического вещества. В целом, исследователи оценивают объемы глобального накопления углерода в почве в результате антропогенно-обусловленных эрозионных процессов в 78 млрд т для наземных экосистем (Shukla et al., 2005; Wang et al., 2017).

Растения в течение суток могут как поглощать, так и выделять углекислый газ. В периоды активного развития и наращивания биомассы этот баланс сдвинут в сторону поглощения и секвестрирования CO_2 в биомассе. До 89% углерода, секвестрируемого растениями, затем переходит в состав почвы (Eze et al., 2018). Привнесение углерода происходит за счет углеродосодержащих корневых выделений, являющихся труднобиоразлагаемыми, а также за счет накопления отмерших частей растений в почве (Noulékoun et al., 2021; Rasse et al., 2005). Древесная растительность является лучшим секвестратором углекислого газа по сравнению с травянистой (Chen et al., 2018; Chan et al., 2008; Poulton et al., 2018). Тем не менее, глобальная роль территорий, покрытых травянистыми растениями, в секвестрации углерода чрезвычайно велика – они составляют порядка 40% поверхности суши, в них содержится 34% глобальных запасов почвенного углерода (Eze et al., 2018). Объемы накапливаемого в почве углерода могут различаться и между различными травянистыми культурами (McNunn et al., 2020).

В России в результате мониторинга агрохимических свойств почв накоплена информация о содержании органического вещества в верхнем слое почвы. Значительно меньше данных имеется об интенсивности почвенного дыхания, являющегося показателем интенсивности минерализации органического вещества, и почвенной микробной биомассе в верхнем слое почвы. Практически отсутствует информация о потоках углерода в почве и припочвенном слое атмосферы, так же как и о балансе углерода в отдельных экосистемах и регионах, рассчитанного с использованием данных дистанционных замеров с применением моделей.

Именно поэтому создание Карбоновых полигонов, призванных объединить усилия по мониторингу парниковых газов, по построению моделей их распространения, созданию технологий секвестрации углерода на основе фундаментальных закономерностей баланса углерода в различных экосистемах является актуальной и необходимой задачей в России.

Заключение

1. Глобальные тренды декарбонизации энергетики и экономики в целом, направленные на уменьшение последствий глобальных климатических изменений, являются для России не только вызовом, но также и открывают новые возможности.

2. Предлагается новый подход к российскому энергетическому переходу с учетом рационального использования имеющихся природных ресурсов – углеводородных, биологических и территориальных, а также созданной нефтегазовой инфраструктуры – конкретных скважин, исследованных резервуаров, залежей УВ, всей наземной инфраструктуры, включая трубопроводы, а также нефтеперерабатывающие и нефтехимические мощности.

3. Необходимо создавать и реализовывать промышленные технологии генерации водорода непосредственно в нефтегазовой залежи и захоронения образующегося CO_2 в природных резервуарах.

4. Необходимо создание и внедрение промышленных технологий секвестрации углерода, как с использованием биологических систем, так и путем закачки и хранения в природных резервуарах.

5. Ближайшей задачей в реализации предлагаемого плана на пути к «зеленой» экономике является создание Карбоновых полигонов, основной функцией которых будет оценка потоков парниковых газов и разработка эффективных технологий секвестрации диоксида углерода природными биологическими системами.

6. Карбоновый полигон Республики Татарстан «Карбон-Поволжье», оператором которого является Казанский федеральный университет, станет центром сбора, валидации и обработки данных, которые в дальнейшем будут интегрированы в общую модель эмиссии и стоков парниковых газов на территории региона и РФ. Такая система станет основой для построения количественных оценок эмиссии и депонирования парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O) в природных и трансформированных ландшафтах.

7. Несмотря на наличие данных об агрохимических свойствах и содержании органического вещества в верхнем слое почв, в России практически отсутствует информация о потоках углерода в почве и припочвенном слое атмосферы, так же как и о балансе углерода в отдельных экосистемах. Получение таких данных необходимо для последующего создания природоподобных технологий секвестрации углерода.

Литература

- Алферов А., Блинов В., Гитарский М., Грабар В., Замолотчиков Д., Зинченко А. и др. (2017). Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов, 279 с.
- Загирова С., Михайлов О., Елсаков В. (2020). Потоки диоксида углерода, тепла и влаги между еловым насаждением и атмосферой на европейском северо-востоке России. *Известия РАН. Серия Биологическая*, 3, с. 325–336.
- Зинченко А., Парамонова Н., Решетников А. (2001). Оценка эмиссии метана в районе Санкт-Петербурга на основе данных измерений его концентрации в приземном слое атмосферы. *Метеорология и гидрология*, 5, с. 35–39.
- Зинченко А., Парамонова Н., Решетников А., Титов В. (2008). Оценка источников метана на основе измерений его концентрации в районе добычи газа на севере Западной Сибири. *Метеорология и гидрология*, 1, с. 51–64.
- Макарова А., Поберовский А., Яговкина С., Кароль И., Лагун В., Парамонова Н. и др. (2006). Исследование процессов формирования поля метана в атмосфере Северо-Западного региона Российской Федерации. *Физика атмосферы и океана*, 42(2), с. 237–249.
- Решетников А.И., Зинченко А.В., Яговкина С.В., Кароль И.Л., Лагун В.А., Парамонова Н.Н. (2009). Исследование эмиссии метана на севере Западной Сибири. *Метеорология и Гидрология*, 3, с. 53–64.
- Сафонов С., Карелин Д., Грабар В., Латышев Б., Грабовский Б., Уварова Н. и др. (2012). Эмиссия углерода от разложения валежа в южнотаежном ельнике. *Лесоведение*, 5, с. 75–80.

- Юзбеков А., Замолдчиков Д., Иващенко А. (2014). Фотосинтез у ели европейской в лесных экосистемах экспериментального полигона 'Лог Таежный'. *Вестник Московского университета*, 4, с. 32–35.
- Alekseychik P., Mammarella I., Karpov D., Dengel S., Terentjeva I., Sabrekov A., Lapshina E. (2017). Net ecosystem exchange and energy fluxes measured with the eddy covariance technique in a western Siberian bog. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(15), pp. 9333–9345. <https://doi.org/10.5194/acp-17-9333-2017>
- Alvarez R., Alvarez C. R., Lorenzo G. (2001). Carbon dioxide fluxes following tillage from a mollisol in the Argentine Rolling Pampa. *European Journal of Soil Biology*, 37(3), pp. 161–166. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01085-8](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01085-8)
- Angers D.A., Bolinder M.A., Carter M.R., Gregorich E.G., Drury C.F., Liang B.C., et al. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 41(3–4), pp. 191–201. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01100-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01100-2)
- Bernoux M., Cerri C. C., Volkoff B., Carvalho M. da C. S., Feller C., Cerri C. E. P., et al. (2005). Gases do efeito estufa e estoques de carbon nos solos: inventario do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 22(1), pp. 235–246.
- Cambardella C.A., Elliott E.T. (1992). Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), pp.777–783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>
- Canedoli C., Ferrè C., Abu El Khair D., Comolli R., Liga C., Mazzucchelli F., et al. (2020). Evaluation of ecosystem services in a protected mountain area: Soil organic carbon stock and biodiversity in alpine forests and grasslands. *Ecosystem Services*, 44, 101135. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101135>
- Carpejani G., Assad A.S., Godoi L.R., Waters J., Andrade Guerra J.B.S.O. de (2020). The Anthropocene: Conceptual Analysis with Global Climate Change, Planetary Boundaries and Gaia 2.0. *Climate Change Management*, pp. 301–314. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57235-8_24
- Chabbi A., Lehmann J., Ciais P., Loescher H.W., Cotrufo M.F., Don A., et al. (2017). Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change*, 7(5), pp. 307–309. <https://doi.org/10.1038/nclimate3286>
- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), p. 437. <https://doi.org/10.1071/SR08036>
- Chen Y., Liu P., Lv P., Gao J., Wang M., and Wang Y. (2018). IL-6 is involved in malignancy and doxorubicin sensitivity of renal carcinoma cells. *Cell Adhesion and Migration*, 12(1), pp. 28–36. <https://doi.org/10.1080/19336918.2017.1307482>
- Climate Analysis Indicators Tool-CAIT 2.0 | NDC Partnership <https://ndcpartnership.org/toolbox/climate-analysis-indicators-tool-cait-20>
- Corbeels M., Cardinael R., Naudin K., Guibert H., Torquebiau E. (2019). The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, 188, pp. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015>
- Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Denef K., Paul E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, 19(4), pp. 988–995. <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>
- Eze S., Palmer S.M., and Chapman P.J. (2018). Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. *Journal of Environmental Management*, 223, pp. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.013>
- Holl D., Wille C., Sachs T., Schreiber P., Runkle B. R. K., Beckebanze L., et al. (2019). A long-term (2002 to 2017) record of closed-path and open-path eddy covariance CO₂ net ecosystem exchange fluxes from the Siberian Arctic. *Earth System Science Data*, 11(1), pp. 221–240. <https://doi.org/10.5194/essd-11-221-2019>
- Houghton J., Callander B., and Varney S. (1992). Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment.
- Karelina D.V., Zamolodchikov D.G., Shilkin A.V., Popov S.Y., Kumanyaev A.S., de Gerenyu V.O.L., et al. (2020). The effect of tree mortality on CO₂ fluxes in an old-growth spruce forest. *Eur J Forest Res*, 140, pp. 287–305. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01330-3>
- Kleidon A. (2004). Beyond Gaia: Thermodynamics of Life and Earth System Functioning. *Climatic Change*, 66, pp. 271–319. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000044616.34867.ec>
- Lal R. (2016). Beyond COP 21: Potential and challenges of the '4 per Thousand' initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(1), 20A–25A. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.20A>
- Lal R., Faussey N. R., and Eckert D. J. (2018). Land Use and Soil Management Effects on Emissions of Radiatively Active Gases from Two Soils in Ohio. *Soil Management and Greenhouse Effect*, pp. 41–60.
- Lehmann J. and Kleber M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, pp.60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- McNunn G., Karlen D.L., Salas W., Rice C.W., Mueller S., Muth D., et al. (2020). Climate smart agriculture opportunities for mitigating soil greenhouse gas emissions across the U.S. Corn-Belt. *Journal of Cleaner Production*, 268.
- Noulékoun F., Birhane E., Kassa H., Berhe A., Gebremichael Z. M., Adem N. M., et al. (2021). Grazing exclosures increase soil organic carbon stock at a rate greater than '4 per 1000' per year across agricultural landscapes in Northern Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 782, 146821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146821>
- Ogle S. M., Alsaker C., Baldock J., Bernoux M., Breidt F.J., McConkey B., et al. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- Olson K.R., Ebelhar S.A., Lang J.M. (2010). Cover crop effects on crop yields and soil organic carbon content. *Soil Science*, 175(2), pp. 89–98. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181c7f959>
- Parkin T.B., Kaspar T.C., Jaynes D.B., and Moorman T.B. (2016). Rye Cover Crop Effects on Direct and Indirect Nitrous Oxide Emissions. *Soil Science Society of America Journal*, 80(6), pp. 1551–1559. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0120>
- Poulton P., Johnston J., Macdonald A., White R., Powelson D. (2018). Major limitations to achieving '4 per 1000' increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*, 24(6), pp. 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
- Rasse D.P., Rumpel C., Dignac M.F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1–2), pp. 341–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>
- Reicosky D.C. (2001). Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24–29.
- Reicosky D.C., Archer D.W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 94(1), pp. 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.004>
- Reth S., Reichstein M., Falge E. (2005). The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux – A modified model. *Plant and Soil*, 268, pp. 21–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0175-5>
- La Scala N., Bolonhezi D., Pereira G.T. (2006). Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 91(1–2), pp. 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>
- Shukla M.K., Lal R. (2005). Erosional effects on soil organic carbon stock in an on-farm study on Alfisols in west central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 81(2), pp. 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.006>
- Snyder C.S. (2017). Enhanced nitrogen fertiliser technologies support the '4R' concept to optimise crop production and minimise environmental losses. *Soil Research*, 55(5–6), pp. 463–472. <https://doi.org/10.1071/SR16335>
- Tei S., Morozumi T., Kotani A., Takano S., Sugimoto A., Miyazaki S., et al. (2021). Seasonal variations in carbon dioxide exchange fluxes at a taiga-tundra boundary ecosystem in Northeastern Siberia. *Polar Science*, 28, 100644. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100644>
- Vakhin A.V., Aliev F.A., Mukhamatdinov I.I., Sitnov S.A., Sharifullin A.V., Kudryashov S.I., et al. (2020). Catalytic aquathermolysis of boca de jaruco heavy oil with nickel-based oil-soluble catalyst. *Processes*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/pr8050532>
- VandenBygaert A.J. (2018). Comments on soil carbon 4 per mille by Minasny et al. 2017. *Geoderma*, 309, pp. 113–114.
- VandenBygaert A.J., Bremer E., McConkey B.G., Ellert B.H., Janzen H.H., Angers D.A., et al. (2011). Impact of Sampling Depth on Differences in Soil Carbon Stocks in Long-Term Agroecosystem Experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 75(1), pp. 226–234. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0099>
- Varfolomeev M.A., Yuan C., Bolotov A.V., Minkhanov I.F., Mehrabi-Kalajahi S., Saifullin E.R., et al. (2021). Effect of copper stearate as catalysts on the performance of in-situ combustion process for heavy oil recovery and upgrading. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 207, 109125. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109125>
- de Vries W. (2018). Soil carbon 4 per mille: a good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny et al. (2017). *Geoderma*, 292, pp. 59–86. *Geoderma*, 309, pp. 111–112.
- Wang Z., Hoffmann T., Six J., Kaplan J.O., Govers G., Doetterl S., et al. (2017). Human-induced erosion has offset one-third of carbon emissions from land cover change. *Nature Climate Change*, 7, pp. 345–349. <https://doi.org/10.1038/nclimate3263>

Xie H., Tang Y., Yu M., Geoff Wang G. (2021). The effects of afforestation tree species mixing on soil organic carbon stock, nutrients accumulation, and understory vegetation diversity on reclaimed coastal lands in Eastern China. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01478. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01478>

Zinchenko A.V., Paramonova N.N., Privalov V.I., Reshetnikov A.I. (2002). Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia, region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(20), ACH 2-1-ACH 2-11. <https://doi.org/10.1029/2001JD001369>

Сведения об авторах

Данис Карлович Нурғалиев – доктор геол.-мин. наук, профессор, директор института геологии и нефтегазовых технологий, проректор по направлениям нефтегазовых технологий, природопользования и наук о Земле

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420111, Казань, ул. Чернышевского, д. 7

Светлана Юрьевна Селивановская – доктор биол. наук, профессор, директор института экологии и природопользования Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420097, Казань, ул. Товарищеская, д. 5

Мария Владимировна Кожевникова – канд. биол. наук, заместитель директора института экологии и природопользования по научной деятельности

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420097, Казань, ул. Товарищеская, д. 5

Полина Юрьевна Галицкая – доктор биол. наук, профессор кафедры прикладной экологии института экологии и природопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420097, Казань, ул. Товарищеская, д. 5

Статья поступила в редакцию 02.08.2021;

Принята к публикации 09.08.2021; Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Some challenges and opportunities for Russia and regions in terms of the global decarbonization trend

D.K. Nurgaliev, S.Yu. Selivanovskaya*, M.V. Kozhevnikova, P.Yu. Galitskaya

Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

*Corresponding author: Svetlana Yu. Selivanovskaya, e-mail: svetlana.selivanovskaya@kpfu.ru

Abstract. This article discusses a possible scenario of energy transition in Russia, taking into account the economic structure, presence of huge oil and gas infrastructure and unique natural resources. All this allows to consider global trends of energy and economic decarbonization not only as a challenge, but also as a new opportunity for the country. Considering developed oil and gas production, transportation, refining and petrochemical infrastructure, as well as the vast territory, forest, water and soil resources, our country has unique opportunities for carbon sequestration using both biological systems and the existing oil and gas infrastructure. It is proposed to use the existing oil and gas production facilities for hydrogen generation in the processes of hydrocarbon catalytic transformation inside the reservoir. It is suggested to create and use large-scale technologies for CO₂ sequestration using existing oil and gas production infrastructure. Considering high potential of the Russian Federation for carbon sequestration by biological systems, a network of Russian carbon testing areas is being developed, including one at Kazan Federal University (KFU), – the “Carbon-Povolzhye” testing area. The creation of carbon farms based on the applications at such testing areas could become a high-demand high-tech business. A detailed description of the KFU carbon testing area and its planned objectives are given.

Keywords: energy transition, decarbonization, hydrogen generation, CO₂ disposal, carbon sequestration by biological systems, carbon testing area

Recommended citation: Nurgaliev D.K., Selivanovskaya S.Yu., Kozhevnikova M.V., Galitskaya P.Yu. (2021). Some challenges and opportunities for Russia and regions in terms of the global decarbonization trend. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 8–16. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.2>

References

Alekseychik P., Mammarella I., Karpov D., Dengel S., Terentjeva I., Sabrekov A., Lapshina E. (2017). Net ecosystem exchange and energy fluxes measured with the eddy covariance technique in a western Siberian bog. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(15), pp. 9333–9345. <https://doi.org/10.5194/acp-17-9333-2017>

Alferov A., Blinov V., Gitarskii M., Grabar V., Zamolodchikov D., Zinchenko A. et al. (2017). Monitoring of greenhouse gas flows in natural ecosystems. Saratov, 279 p. (In Russ.)

Alvarez R., Alvarez C. R., Lorenzo G. (2001). Carbon dioxide fluxes following tillage from a mollisol in the Argentine Rolling Pampa. *European Journal of Soil Biology*, 37(3), pp. 161–166. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01085-8](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01085-8)

Angers D.A., Bolinder M.A., Carter M.R., Gregorich E.G., Drury C.F., Liang B.C., et al. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research*, 41(3–4), pp. 191–201. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01100-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01100-2)

Bernoux M., Cerri C. C., Volkoff B., Carvalho M. da C. S., Feller C., Cerri C. E. P., et al. (2005). Gases do efeito estufa e estoques de carbon nos solos: inventario do Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 22(1), pp. 235–246.

Cambardella C.A., Elliott E.T. (1992). Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Science Society of America Journal*, 56(3), pp.777–783. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>

Canedoli C., Ferrè C., Abu El Khair D., Comolli R., Liga C., Mazzucchelli F., et al. (2020). Evaluation of ecosystem services in a protected mountain area: Soil organic carbon stock and biodiversity in alpine forests and grasslands. *Ecosystem Services*, 44, 101135. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101135>

Carpejani G., Assad A.S., Godoi L.R., Waters J., Andrade Guerra J.B.S.O. de (2020). The Anthropocene: Conceptual Analysis with Global Climate Change, Planetary Boundaries and Gaia 2.0. *Climate Change Management*, pp. 301–314. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57235-8_24

Chabbi A., Lehmann J., Ciais P., Loescher H.W., Cotrufo M.F., Don A., et al. (2017). Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change*, 7(5), pp. 307–309. <https://doi.org/10.1038/nclimate3286>

Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), p. 437. <https://doi.org/10.1071/SR08036>

Chen Y., Liu J., Lv P., Gao J., Wang M., and Wang Y. (2018). IL-6 is involved in malignancy and doxorubicin sensitivity of renal carcinoma cells. *Cell Adhesion and Migration*, 12(1), pp. 28–36. <https://doi.org/10.1080/19336918.2017.1307482>

Climate Analysis Indicators Tool-CAIT 2.0 | NDC Partnership <https://ndcpartnership.org/toolbox/climate-analysis-indicators-tool-cait-20>

Corbeels M., Cardinael R., Naudin K., Guibert H., Torquebiau E. (2019). The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*, 188, pp. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.02.015>

Cotrufo M.F., Wallenstein M.D., Boot C.M., Deneff K., Paul E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, 19(4), pp. 988–995. <https://doi.org/10.1111/gcb.12113>

- Eze S., Palmer S.M., and Chapman P.J. (2018). Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. *Journal of Environmental Management*, 223, pp. 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.013>
- Holl D., Wille C., Sachs T., Schreiber P., Runkle B. R. K., Beckebanze L., et al. (2019). A long-term (2002 to 2017) record of closed-path and open-path eddy covariance CO₂ net ecosystem exchange fluxes from the Siberian Arctic. *Earth System Science Data*, 11(1), pp. 221–240. <https://doi.org/10.5194/essd-11-221-2019>
- Houghton J., Callander B., and Varney S. (1992). Climate change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment.
- Karelin D.V., Zamolodchikov D.G., Shilkin A.V., Popov S.Y., Kumanyaev A.S., de Gerenyu V.O.L., et al. (2020). The effect of tree mortality on CO₂ fluxes in an old-growth spruce forest. *Eur J Forest Res*, 140, pp. 287–305. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01330-3>
- Kleidon A. (2004). Beyond Gaia: Thermodynamics of Life and Earth System Functioning. *Climatic Change*, 66, pp. 271–319. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000044616.34867.ec>
- Lal R. (2016). Beyond COP 21: Potential and challenges of the ‘4 per Thousand’ initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(1), 20A–25A. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.1.20A>
- Lal R., Faussey N. R., and Eckert D. J. (2018). Land Use and Soil Management Effects on Emissions of Radiatively Active Gases from Two Soils in Ohio. *Soil Management and Greenhouse Effect*, pp. 41–60.
- Lehmann J. and Kleber M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528, pp.60–68. <https://doi.org/10.1038/nature16069>
- Makarova M.V., Poberovskii A.V., Yagovkina S.V., Karol I.L., Lagun V.E., Paramonova N.N., Reshetnikov A.I., Privalov V.I. (2006). Study of the formation of the methane field in the atmosphere over Northwestern Russia. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 42(2), pp. 215–227.
- McNunn G., Karlen D.L., Salas W., Rice C.W., Mueller S., Muth D., et al. (2020). Climate smart agriculture opportunities for mitigating soil greenhouse gas emissions across the U.S. Corn-Belt. *Journal of Cleaner Production*, 268.
- Noulékoun F., Birhane E., Kassa H., Berhe A., Gebremichael Z. M., Adem N. M., et al. (2021). Grazing enclosures increase soil organic carbon stock at a rate greater than ‘4 per 1000’ per year across agricultural landscapes in Northern Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 782, 146821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146821>
- Ogle S. M., Alsaker C., Baldock J., Bernoux M., Breidt F.J., McConkey B., et al. (2019). Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47861-7>
- Olson K.R., Ebelhar S.A., Lang J.M. (2010). Cover crop effects on crop yields and soil organic carbon content. *Soil Science*, 175(2), pp. 89–98. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181cf7959>
- Parkin T.B., Kaspar T.C., Jaynes D.B., and Moorman T.B. (2016). Rye Cover Crop Effects on Direct and Indirect Nitrous Oxide Emissions. *Soil Science Society of America Journal*, 80(6), pp. 1551–1559. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0120>
- Poulton P., Johnston J., Macdonald A., White R., Powelson D. (2018). Major limitations to achieving ‘4 per 1000’ increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Global Change Biology*, 24(6), pp. 2563–2584. <https://doi.org/10.1111/gcb.14066>
- Rasse D.P., Rumpel C., Dignac M.F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1–2), pp. 341–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>
- Reicosky D.C. (2001). Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24–29.
- Reicosky D.C., Archer D.W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research*, 94(1), pp. 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.004>
- Reshetnikov A.I., Zinchenko A.V., Yagovkina S.V., Karol I.L., Lagun V.E., Paramonova N.N. (2009). Studying methane emission in the north of Western Siberia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 34(3), pp.171–179. <https://doi.org/10.3103/S1068373909030054>
- Reth S., Reichstein M., Falge E. (2005). The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux – A modified model. *Plant and Soil*, 268, pp. 21–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0175-5>
- Safonov S., Karelin D., Grabar V., Latyshev B., Grabovskii B., Uvarova N. et al. (2012). Carbon emission from the decomposition of dead wood in the southern taiga spruce forest. *Lesovedenie*, 5, pp. 75–80. (In Russ.)
- La Scala N., Bolonhezi D., Pereira G.T. (2006). Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 91(1–2), pp. 244–248. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>
- Shukla M.K., Lal R. (2005). Erosional effects on soil organic carbon stock in an on-farm study on Alfisols in west central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 81(2), pp. 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.006>
- Snyder C.S. (2017). Enhanced nitrogen fertilizer technologies support the ‘4R’ concept to optimise crop production and minimise environmental losses. *Soil Research*, 55(5–6), pp. 463–472. <https://doi.org/10.1071/SR16335>
- Tei S., Morozumi T., Kotani A., Takano S., Sugimoto A., Miyazaki S., et al. (2021). Seasonal variations in carbon dioxide exchange fluxes at a taiga-tundra boundary ecosystem in Northeastern Siberia. *Polar Science*, 28, 100644. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100644>
- Vakhin A.V., Aliev F.A., Mukhamatdinov I.I., Sitnov S.A., Sharifullin A.V., Kudryashov S.I., et al. (2020). Catalytic aquathermolysis of boca de jaruco heavy oil with nickel-based oil-soluble catalyst. *Processes*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/pr8050532>
- VandenBygaert A.J. (2018). Comments on soil carbon 4 per mille by Minasny et al. 2017. *Geoderma*, 309, pp. 113–114.
- VandenBygaert A.J., Bremer E., McConkey B.G., Ellert B.H., Janzen H.H., Angers D.A., et al. (2011). Impact of Sampling Depth on Differences in Soil Carbon Stocks in Long-Term Agroecosystem Experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 75(1), pp. 226–234. <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0099>
- Varfolomeev M.A., Yuan C., Bolotov A.V., Minkhanov I.F., Mehrabi-Kalajahi S., Saifullin E.R., et al. (2021). Effect of copper stearate as catalysts on the performance of in-situ combustion process for heavy oil recovery and upgrading. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 207, 109125. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109125>
- de Vries W. (2018). Soil carbon 4 per mille: a good initiative but let’s manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny et al. (2017). *Geoderma*, 292, pp. 59–86. *Geoderma*, 309, pp. 111–112.
- Wang Z., Hoffmann T., Six J., Kaplan J.O., Govers G., Doetterl S., et al. (2017). Human-induced erosion has offset one-third of carbon emissions from land cover change. *Nature Climate Change*, 7, pp. 345–349. <https://doi.org/10.1038/nclimate3263>
- Xie H., Tang Y., Yu M., Geoff Wang G. (2021). The effects of afforestation tree species mixing on soil organic carbon stock, nutrients accumulation, and understory vegetation diversity on reclaimed coastal lands in Eastern China. *Global Ecology and Conservation*, 26, e01478. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01478>
- Yuzbekov A.K., Zamolodchikov D.G., Ivashchenko A.I. (2014). Spruce fir photosynthesis in the forest ecosystems of the Log Tayezhnyi test area. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 69(4), pp. 169–172.
- Zagirova S., Mikhailov O., Elsakov V. (2020). Carbon dioxide, heat, and water vapor fluxes between a spruce forest and the atmosphere in Northeastern European Russia. *Biology Bulletin*, 47(3), pp. 306–317.
- Zinchenko A.V., Paramonova, N.N., Privalov, V.I. et al. (2008). Estimation of methane sources from concentration measurements in the area of gas production in the north of Western Siberia. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 33, pp. 34–42. <https://doi.org/10.3103/S1068373908010068>
- Zinchenko A.V., Paramonova N.N., Privalov V.I., Reshetnikov A.I. (2002). Estimation of methane emissions in the St. Petersburg, Russia, region: An atmospheric nocturnal boundary layer budget approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(20), ACH 2-1-ACH 2-11. <https://doi.org/10.1029/2001JD001369>
- Zinchenko, A.V., Paramonova, N.N., Privalov, V.I. et al. (2001). Estimation of methane emission from surface concentrations in St. Petersburg and its environs. *Meteorologiya i gidrologiya*, 5, pp. 35–39. (In Russ.)

About the Authors

Danis K. Nurgaliev – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Director of the Institute of Geology and Petroleum Technologies, Vice-Rector for Oil and Gas Technologies, Nature Management and Earth Sciences, Kazan Federal University

7, Chernyshevsky St., Kazan, 420111, Russian Federation

Svetlana Yu. Selivanovskaya – DSc (Biology), Professor, Director of the Institute of Environmental Sciences, Kazan Federal University

5, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

Maria V. Kozhevnikova – PhD. (Biology), Deputy Director, Institute of Environmental Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University

5, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

Polina Yu. Galitskaya – DSc (Biology), Professor, Applied Ecology Department, Institute of Environmental Sciences, Kazan (Volga Region) Federal University

5, Tovarishcheskaya St., Kazan, 420097, Russian Federation

Manuscript received 2 August 2021;

Accepted 9 August 2021; Published 30 August 2021

Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации

В.А. Крюков^{1*}, Д.В. Миляев^{1,2}, А.Д. Савельева^{1,2}, Д.И. Душенин^{1,2}

¹Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

²АО «СНИИГТ и МС», Новосибирск, Россия

Процессы глобального энергоперехода во все большей степени становятся одними из основных движущих сил как трансформации существующей модели рынка, так и технологических основ функционирования энергетических объектов. Переориентация мировой экономики в направлении декарбонизации ставит под угрозу устойчивость функционирования многих ранее казавшихся незыблемыми технологических решений и подходов в области системной интеграции топливно-энергетического комплекса, что, в свою очередь, стимулирует поиск новой парадигмы его развития.

Проявления трансформации наблюдаются на различных уровнях экономической иерархии: межстрановом, страновом и внутривнутристрановом. Выработка механизмов реагирования российских производителей на реалии энергетического перехода требует обкатки на реальных объектах. По мнению авторов, Татарстан может стать показательным полигоном для развития подходов к достижению углеродной нейтральности.

Для превентивного прогноза достижимости ESG-показателей (социально-экологических индикаторов бизнеса) авторами предлагается концептуальный подход к оценке развития технологий декарбонизации, основанный на комбинации экономико-математических методов, который позволяет выработать организационно-правовую основу процесса, сформировать и оценить критерии эффективности инноваций и условия их реализации.

Ключевые слова: декарбонизация, энергетический переход, оценка инноваций, экология, пороговый анализ, байесовские сети, кривые обучения

Для цитирования: Крюков В.А., Миляев Д.В., Савельева А.Д., Душенин Д.И. (2021). Вызовы и ответы экономики Республики Татарстан на процессы декарбонизации. *Георесурсы*, 23(3), с. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.3>

Введение

В китайском языке слово кризис состоит из двух символов: один означает опасность, а другой – шанс. Находясь на пороге экологического кризиса важно осознавать условия и цели, которые возникают перед нами в новых реалиях. Создание региональных полигонов, научно-промышленных и научно-технологических объединений, формирование новой эколого-экономической политики – ключевые элементы стратегии трансформации в направлении углеродной нейтральности.

Глобальная декарбонизация, как ответ на глобальное потепление и распространение природных катаклизмов, постепенно охватывает мир на всех уровнях и секторах экономики и политики: смещение интересов мирового финансового рынка, политические инициативы («Зеленый пакт ЕС»), трансформация транснациональных компаний, глобальная научно-технологическая переориентация, изменение структуры бизнеса. Хотя сейчас осознание вызовов и возможностей декарбонизации развивается неравномерно, в мире происходит смещение экономической модели с краткосрочный приоритетов к созданию долгосрочной глобальной ценности, ключевым двигателем которой в рассматриваемом контексте становится наступление «зеленой» технологической революции.

Изменение существующей модели рынка: тренд декарбонизации

Анализ шагов и мер в области энергоперехода при всей общей их направленности на снижение выбросов парниковых газов и факторов, вызывающих их образование, весьма существенно различается в зависимости от уровня рассмотрения данной проблемы: межстранового, странового, внутривнутристранового и отраслевого. В последнем случае, речь идет об отдельных проектах и мероприятиях, связанных как со снижением выбросов углерода, так и повышением энергоэффективности на различных этапах производства и потребления энергии.

На межстрановом уровне ключевую роль занимают действия регуляторов. Если раньше они заключались в субсидировании, то сейчас – в ужесточении экологических требований путем создания нормативно-правовой базы в отношении производителей – эмитентов CO₂. Особенно широко обсуждаемы инициативы ЕС в направлении комплексного регулирования, а именно введение трансграничного углеродного налога – меры пограничного углеродного регулирования, обязывающей экспортеров товаров в ЕС платить сбор за выбросы углекислого газа, связанные с производством их продукции. Для России это более 40% экспорта, который по итогам 2020 года составил 571,5 млрд долл. В соответствии с установленными в ЕС тарифами на эмиссию CO₂ в размере 30\$ за тонну и экспертными оценками углеродного следа российского экспорта в ЕС в размере более 1 млрд т CO₂,

* Ответственный автор: Валерий Анатольевич Крюков
e-mail: valkryukov@mail.ru

© 2021 Коллектив авторов

потенциальный ущерб отечественной экономике представляется существенным (Сафонов, 2020).

Помимо перечисленного все более активную позицию в процессе энергоперехода занимает финансовый сектор. Развивается направление климатического финансирования, основу которого составляют инструменты и меры, направленные на поддержание «зеленых» проектов: целевое кредитование, зеленые облигации, налоговые льготы, национальные банки развития, политика раскрытия информации и национальные климатические фонды (Сафонов, 2020). В то же время для отраслей и отдельных предприятий с низким ESG-рейтингом*, особенно в отношении экологического аспекта, происходит ужесточение кредитно-инвестиционной политики вплоть до намерений существенных дивестиций. Растет объем средств под управлением компаний с ESG-стратегиями. Это ощутимо влияет на долгосрочные тенденции спроса, регуляторную среду и доступность финансирования для нефтегазовых компаний всего мира, не исключая и российских. Национальный нефтегазовый бизнес вертикально интегрированных нефтяных компаний существенно зависит от международного финансирования, которое составляет более 50% в заемном капитале ведущих предприятий (рис. 1), что ставит для них новые условия по раскрытию информации инвесторам и приоритетности климатической стратегии (Гайда и др., 2021).

Крупнейшая финансовая корпорация BlackRock в своих обращениях к генеральным директорам и инвесторам подчеркивает важность климатической повестки и предупреждает о намерениях выходить из ценных бумаг компаний, которые не раскрывают информацию или не делают шагов к углеродной нейтральности (Ананькина, 2021). Также по данным Reuters, существует угроза прекращения финансирования Всемирным банком проектов, связанных с нефтью и углем, а в долгосрочной перспективе – сокращения и газовых активов, в рамках стратегии по борьбе с изменениями климата (Порядин, Белоглазова, 2021). Пенсионный фонд штата Нью-Йорк уже в конце 2020 года заявил о приостановке инвестирования в активы компаний, не отвечающих его экологическим стандартам. Пока что требования коснулись только угольной отрасли и разработки нефтеносных песков, но далее будут распространены и на компании нефтегазового сектора, входящие в портфель фонда. В том числе при несоответствии экологическим стандартам на продажу могут быть выставлены акции крупных российских компаний: ПАО «НК «Роснефть» – 0,008% от общего числа акций компании, ПАО «Татнефть» – 0,008%, ПАО «Новатэк» и ПАО «Сургутнефтегаз» – 0,003%. Несмотря на несущественный биржевой эффект от этого разового инцидента, удар по репутации и ESG-рейтингу компаний может быть серьезным (Климатическая повестка России..., 2021).

Смещение интересов инвесторов находит отражение и в рыночной стоимости активов. Углеродный след постепенно становится одной из ключевых характеристик любого бизнеса – капитализация компаний, имеющих экологические обязательства и программы устойчивого

развития, значительно выше по сравнению с конкурентами. Например, стоимость американской NextEra Energy, которая производит и продает энергию из возобновляемых источников, с начала 2020 года выросла почти на 30%, в то время как капитализация ExxonMobil за этот период продемонстрировала динамику вниз на 20% (Порядин, Белоглазова, 2021).

В таких условиях вектор развития нефтегазового сектора напрямую зависит от его способности к трансформации в направлении, обусловленном необходимостью ускоренной декарбонизации.

На страновом уровне основной круг проблем связан с соблюдением баланса между отражением общих подходов и инициатив международного сообщества в национальном законодательстве и сохранением ключевых направлений стратегии экономического развития. Позиция отечественных экспертов насчет стратегии России в процессе энергетического перехода кажется неоднозначной (Глобальный энергопереход..., 2021). Многие из них выступают оппонентами «зеленой» повестки, ссылаясь на то, что это политический шаг в направлении снижения энергозависимости ЕС, и что ключевое значение для страны играет лишь собственная Энергетическая стратегия, поддерживающая ее интересы и условия. Имеет место и позиция непротиводействия: энергопереход – это актуальное направление мировой энергетической трансформации и технологического развития. Принципиально существуют две альтернативы: влиться в процесс со всеми его ограничениями, либо остаться за гранью мировой трансформации.

По мнению авторов, наиболее конструктивна мысль о формировании своего вектора развития с учетом новых условий, которые диктует энергетическая повестка. На самых верхних уровнях (межстрановом и страновом) – сохранение баланса между национальными интересами и целями глобальной климатической инициативы, координация с другими странами, для которых инициатива международного сообщества является источником вынужденных изменений, проактивный диалог с Евросоюзом. На внутристрановом уровне, по мнению экспертов программы по экологической ответственности бизнеса WWF России, рационально использовать региональную специфику для ускорения процессов энергоперехода. Иными словами, выделить регионы-полигоны, приоритетные для тех или иных источников энергии и отработать все процессы (финансовые, технологические и прочие) (Глобальный энергопереход..., 2021).

Данный подход отличает постепенность осуществления основных шагов и мероприятий при переходе к низкоуглеродной экономике, а также «экспериментальный» характер апробирования моделей в различных отраслях и регионах.

Структура экономики России, благодаря развитым промышленным секторам и сильным межотраслевым связям, позволяет комплексно подойти к решаемой задаче: изменяя один фрагмент структуры, трансформировать всю систему в целом. Важным аспектом в данном вопросе, как уже упоминалось ранее, является учет пространственных (региональных) особенностей производства и потребления энергоресурсов. Так, например, важно принимать во внимание (в случае углеводородов) стадию освоения

*ESG-рейтинг отражает степень направленности бизнес-решений компании на развитие в экологической и социальной сферах. ESG – Environmental, Social and Governance.

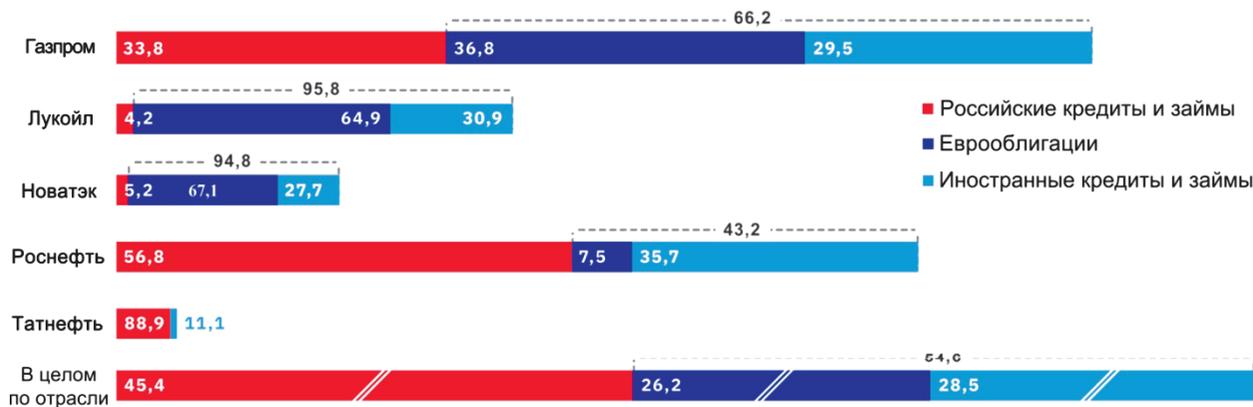


Рис. 1. Доля иностранных кредитов и займов в заемном капитале. По данным доклада Центра стратегических разработок (ЦСР) совместно с Аналитическим центром ТЭК РЭА Минэнерго России и «Ситуационным центром» (ГК Селдон). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-povestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>

ресурсного потенциала (новый район, растущая добыча, высокая степень «освоенности» ресурсной базы), а также особенности структуры экономики конкретного региона.

По мнению авторов, Республика Татарстан как один из регионов-лидеров имеет уникальные особенности и характеристики как нефтегазовой промышленности, так и экономики в целом. В отношении нефтегазового сектора речь идет о высокой степени зрелости ресурсной базы, а также о наличии уникальных навыков и компетенций работы с высоковязкими и сильно истощенными залежами. Это находит отражение в значительной роли, которую играют малые инновационные компании. Данное обстоятельство формирует устойчивый спрос на новые технологии и подходы, связанные с эффективным (в рамках новой экологической парадигмы) освоением и разработкой подобных нетрадиционных залежей.

Чрезвычайно значимо и то, что экономика Республики Татарстан также имеет многоотраслевой характер – помимо собственно добычи углеводородов активно развиваются нефте-, газопереработка и нефтехимия. В Республике развито машиностроение, сельское хозяйство, наука и образование и др. отрасли экономики (табл. 1).

Благодаря выраженному доминированию отраслей с высоким углеродным следом, развитыми знание-интенсивными отраслями и хорошо выстроенной системе межсекторальных взаимодействий, Республика Татарстан может стать показательным регионом (не путать с полигоном) для развития подходов к достижению углеродной нейтральности в процессе кооперации и тесного взаимодействия участников из разных секторов экономики в рамках отдельного экономически самодостаточного и устойчивого региона.

Модель развития технологических инноваций

Следуя тренду декарбонизации, промышленникам предстоит адаптировать и внедрять дорогостоящие технологии, что на начальном этапе требует определения экономического эффекта и рисков составляющей от предстоящей модернизации производства. Оценка технологических инноваций – специфическая задача ввиду высокой неоднозначности прогноза производственных и финансовых показателей, что ограничивает применение привычных методов инвестиционного анализа. По мнению авторов, необходимо последовательно решить две подзадачи:

- определить требуемое состояние развития технологии;
- определить условия достижения такого состояния.

Результатом должен стать практически применимый комплекс технологических и организационно-правовых механизмов освоения углеводородов более экологичным способом с сохранением приемлемой нормы рентабельности бизнеса.

Авторский алгоритм оценки технологических инноваций по декарбонизации для решения первой подзадачи применяет пороговый анализ, а для второй – построение байесовской сети с использованием кривых обучения (рис. 2).

Каждая технология характеризуется набором индикаторов, определяющих стоимость её разработки, приобретения и последующего использования, применимость к конкретной задаче, производительность в тех или иных режимах эксплуатации. Комбинация значений индикаторов определяет **состояние** развития технологии. Очевидно, что в контексте декарбонизации могут рассматриваться

	Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	Добыча полезных ископаемых	Обрабатывающие производства	Строительство	Знание-интенсивные отрасли	Прочие
Российская Федерация	4,3	14,8	18	5,6	17,2	40,1
г. Москва	0,1	0	16,2	3,4	25	55,3
г. Санкт-Петербург	0,2	0,3	17,2	4,4	28,6	49,3
ХМАО-Югра	0,2	73,3	2,3	5,2	6,2	12,8
Московская область	1,7	0,2	20,6	5,2	16,3	56
Республика Татарстан	5,7	30,5	15,9	8,1	12	27,8

Табл. 1. Отраслевая структура валовой добавленной стоимости по регионам-лидерам России по социально-экономическому развитию 2020 г. По данным Федеральной службы государственной статистики. https://gks.ru/bgd/regl/b20_14p/Main.htm



Рис. 2. Схема оценки технологических инноваций по декарбонизации

технологии с различными исходными состояниями, а главное – направленное воздействие на ту или иную технологию посредством научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) приводит к различным изменениям её состояния.

Более экологичная технология, приходящая на замену старой, не обязательно должна быть ей идентична по производственной эффективности и стоимости применения. Новая технология может быть дороже, но при этом результативнее, или наоборот. Тем самым искомым является множество всех целевых состояний – удовлетворяющих заданным критериям, например, положительной ожидаемой доходности (Expected Monetary Value – EMV > 0), экологическим нормативам (ESG обязательствам), корпоративному бюджету на модернизацию производства и т.д. Вычислительная процедура для такого порогового анализа предполагает построение производственно-инвестиционной модели (Dushenin, Milyaev, 2018) и с её помощью оценки сценариев внедрения в производство новых технологий, находящихся в различных состояниях развития.

Метод перебора – самый простой способ реализации порогового анализа, но из-за большого количества возможных сценариев применим только для вырожденных, как правило, теоретических задач. На практике можно воспользоваться монотонной зависимостью экономического результата от большинства исходных индикаторов и исключить большую часть возможных сочетаний варьируемых характеристик на старте вычислений (Milyaev, Kidanova, 2017).

Теперь, когда определены минимально допустимые состояния развития технологии, необходимо сопоставить их с объективными реалиями: весьма вероятно, что все или большинство состояний в настоящее время не могут

быть реализованы. Например, улавливание углекислого газа непосредственно на источнике выбросов потребует применения мембран с проницаемостью на 30% выше, чем у существующих. Или закачка углекислого газа в пласт повлечёт использование антикоррозионных труб, стоимость которых должна быть вдвое ниже текущей. Может ли быть достигнуто целевое состояние технологии, с какой вероятностью, за какой срок и какими средствами? Ответы на поставленные вопросы могут быть получены в результате моделирования совместной инновационной деятельности предприятий отрасли.

Классически для проведения НИОКР формируется организационно-правовая единица, так называемый «научный кластер», состоящий из одного или нескольких агентов: недропользователей, R&D центров, сервисных компаний, инвесторов, государственных органов. **Состав** кластера определяет его возможность воздействовать на развитие технологии в направлении одного или нескольких целевых состояний, ведь каждый агент привносит уникальный вклад в виде собственных кадровых, материально-технических, финансовых ресурсов и компетенций. Как следствие, каждому потенциальному составу кластера можно сопоставить набор измеримых численных характеристик, влияющих на скорость развития технологии силами такого кластера.

В математической постановке это может быть реализовано в виде байесовской сети (Abdulkareem et al., 2019), имеющей структуру направленного дерева – ациклического графа с единственным корнем, в каждую некорневую вершину которого будет вести ровно одна дуга (рис. 3). Число уровней сети складывается из числа агентов, формирующих организационно-правовую структуру кластера, и числа возможных усовершенствований технологии, характеризующих различные варианты её развития. Каждый

путь байесовской сети, то есть последовательность вершин, связанных дугами, от корня до конечного листа, соответствует отдельному сценарию развития технологии сформированным кластером. Некоторые пути позволяют достигнуть целевого состояния технологии.

Любая дуга байесовской сети задаёт событие. Вероятность наступления событий на верхних N уровнях сети задаётся бинарными переменными таким образом, чтобы рассмотреть все допустимые варианты состава кластера. Для нижних M уровней сети вычисление вероятностей событий представляет нетривиальную задачу, решаемую с помощью кривых обучения (Learning curve, LC).

LC обеспечивают математическое представление процесса обучения в процессе повторения задач. Эти кривые были первоначально предложены Т.Р. Wright в 1936 году для оценки снижения затрат и времени изготовления изделия в результате повторяющихся процессов на производственных предприятиях (Yelle, 1979). Позднее данный подход был модифицирован для моделирования технологического развития (см. напр. Kryukov, Gorlov, 2019).

За основу берётся ретроспектива развития другой технологии, близкой по концепции развития, то есть по совокупности организационно-правовых и научно-производственных задач. Например, для некоторых технологий

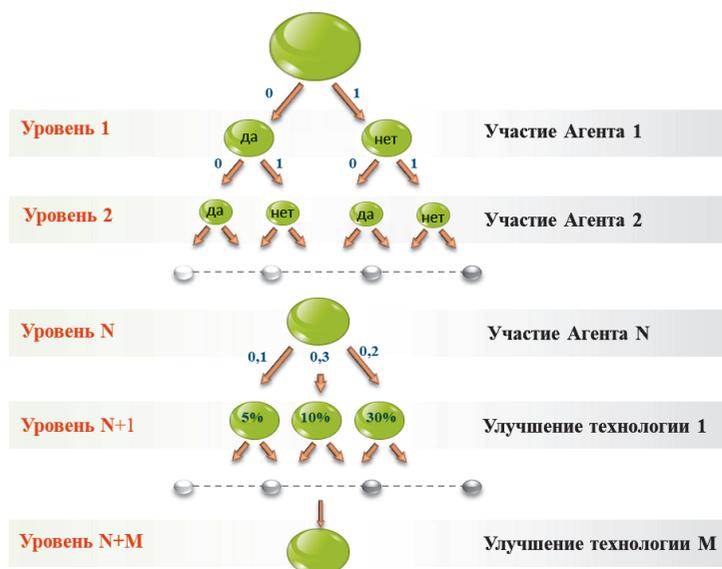


Рис. 3. Структура байесовской сети для прогноза технологических успехов кластера

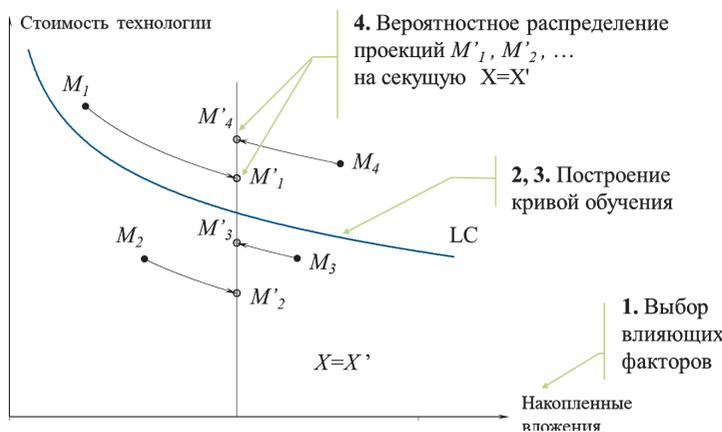


Рис. 4. Вероятностный анализ кривых обучения

декарбонизации в качестве ретроспективной основы можно использовать технологию проведения многостадийного гидроразрыва пласта (ГРП): по ней имеется достаточно статистических данных, увязывающих вложения в НИОКР с ростом производительности ГРП и снижением удельных издержек.

Упрощённый анализ кривой обучения проиллюстрирован на рис. 4:

1. Выбираются влияющие факторы в зависимости от специфики рассматриваемого события (дуги) байесовской сети. Например, если событием является тот или иной бюджет кластера, то в качестве влияющего фактора разумно выбрать объём вложений в НИОКР;

2. Строится зависимость целевого индикатора от одного или нескольких влияющих факторов по принципу минимального суммарного отклонения от ретроспективных точек M_1, M_2, \dots ;

3. Полученная кривая и все точки M_i нормируются таким образом, чтобы максимально соответствовать истории развития и текущему состоянию технологии декарбонизации, которую предстоит развивать;

4. Рассматривается поочерёдно каждое значение влияющего фактора X' , фигурирующее в байесовской сети: проекции точек M_1, M_2, \dots на секущую $X=X'$ задают распределение вероятности целевого индикатора. Так, на представленном графике проекции M'_1, M'_2, \dots отражают множество возможных стоимостей технологий после X' инвестиций.

Применение кривой обучения позволяет определить искомые вероятности событий, то есть веса ребер байесовской сети. Далее, вероятность реализации сценария развития технологии вычисляется перемножением весов всех дуг выбранного пути.

В результате описанных вычислений находится вероятностное распределение потенциальных состояний технологии, а главное – вероятность достижения её целевого состояния. Соответствующий путь байесовской сети характеризует механизм инновационного развития.

Выводы

Декарбонизация формирует технологический и экономический вызовы, обусловленные потребностью в замещении традиционного экспорта углеводородов поставкой «зелёных» энергоносителей. Новый тренд имеет искусственное происхождение, развиваясь, очевидно, вопреки рыночным механизмам, в первую очередь, благодаря анонсированным мерам стимулирования и принуждения. В любом случае российской нефтянке придётся адаптировать и внедрять дорогостоящие технологии, что порождает вопрос экономической оправданности модернизации производства или инвестиций в новые венчурные проекты.

Процесс развития технологических инноваций формализуем с помощью математического аппарата: порогового анализа, агентного моделирования, байесовских сетей, кривых обучения. Это позволяет определить вероятность разработки и внедрения искомой технологии декарбонизации, удовлетворяющей требованиям к ожидаемой доходности, ESG-стратегии и корпоративному бюджету.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российского национального фонда (РНФ), грант №19-18-00170.

Литература

- Ананькина Е.А. (2021). ESG – три роковые карты для российского НГК. *Нефтегазовая вертикаль*, 7, с. 44–49.
- Гайда И.В., Митрова Т.А., Грушевенко Е. и др. (2021). Декарбонизация в нефтегазовой отрасли: международный опыт и приоритеты России. *Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО*. 158 с.
- Глобальный энергопереход для России – возможность или опасность? (2021). *Нефтегазовая вертикаль*. http://www.ngv.ru/pr/globalnyu-energoperekhod-dlya-rossii-vozmozhnost-ili-opasnost-institut-razvitiya-tekhnologiy-tek-obr/?sphrase_id=3273313
- Климатическая повестка России: реагируя на международные вызовы (2021). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-rovestka-rossii-reagiruia-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>
- Порядин А.Е., Белоглазова О. Глобальная декарбонизация: эволюция подходов нефтегазовых компаний (2021). Ernst&Young. https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches
- Сафонов Г.В. (2020). Декарбонизация мировой экономики и Россия. *Нефтегазовая вертикаль*, 21–22, с. 66–70.
- Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. (2019). Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 23, pp. 243–268. <https://doi.org/10.1007/s10707-019-00347-0>
- Dushenin D., Milyaev D. (2018). Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas. In *Geomodel 2018* (No. 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Globerson S., Gold D. (2010). Statistical attributes of the power learning curve model. *International journal of production research*, 35(3), pp. 699–711. <https://doi.org/10.1080/002075497195669>
- Kryukov V.A., Gorlov A.A. (2019). Forecasting the Development Process of Wind Energy in the North Sea Basin Based on Learning Curves. *Stud. Russ. Econ. Dev.*, 30, pp. 177–184. <https://doi.org/10.1134/S1075700719020084>
- Milyaev D.V., Kidanova O.A., Dushenin D.I. (2017). Determination of threshold values for the solution of the multiparametric problem of assessing the efficiency of geological exploration. *Mathematics in the Modern World*, pp. 567–567.

Yelle L.E. (1979). The learning curve: Historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10, pp. 302–328. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x>

Сведения об авторах

Валерий Анатольевич Крюков – доктор экон. наук, профессор, академик РАН, директор Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 17

e-mail: kryukov@ieie.nsc.ru

Дмитрий Владимирович Мильев – канд. экон. наук, начальник отдела геолого-экономического анализа АО «СНИИГГиМС»; научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Анастасия Денисовна Савельева – соискатель степени кандидата наук, инженер 2 категории АО «СНИИГГиМС»; инженер Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Дмитрий Игоревич Душенин – канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией технико-экономической оценки проектов АО «СНИИГГиМС»; научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН

Россия, 630091, Новосибирск, Красный проспект, д. 67

Статья поступила в редакцию 15.07.2021;

Принята к публикации 02.08.2021; Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Challenges and responses of the economy of the Republic of Tatarstan to decarbonization processes

V.A. Kryukov^{1*}, D.V. Milyaev^{1,2}, A.D. Savelieva^{1,2}, D.I. Dushenin^{1,2}

¹Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russian Federation

*Corresponding author: Valeriy A. Kryukov, e-mail: valkryukov@mail.ru

Abstract. The processes of global energy transition are increasingly becoming one of the main driving forces of both the transformation of the existing market model and the technological foundations of the functioning of energy facilities. The reorientation of the world economy towards decarbonization threatens the stability of the functioning of many previously seemingly unshakable technological solutions and approaches in the field of system integration of the fuel and energy complex, which, in turn, stimulates the search for a new paradigm of its development.

The manifestations of transformation are observed at various levels of the economic hierarchy: inter-country, country and intra-country. The development of mechanisms for the response of Russian manufacturers to the realities of the energy transition requires testing at real facilities.

According to the authors, Tatarstan can become an indicative region for the development of approaches to achieving carbon neutrality.

For a preventive forecast of the attainability of ESG (Environmental, Social and Governance) indicators, the authors propose a conceptual approach to assessing the development of decarbonization technologies, based on a combination of economic and mathematical methods, which allows us to develop an organizational and legal basis for the process, form and evaluate criteria for the effectiveness of innovations and the conditions for their implementation.

Keywords: decarbonization, energy transition, innovation assessment, ecology, threshold analysis, Bayesian networks, learning curves

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 19-18-00170.

Recommended citation: Kryukov V.A., Milyaev D.V., Savelieva A.D., Dushenin D.I. (2021). Challenges and responses of the economy of the Republic of Tatarstan to decarbonization processes. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 17–23. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.3>

References

- Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. (2019). Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 23, pp.243–268. <https://doi.org/10.1007/s10707-019-00347-0>
- Anankina E.A. (2021). ESG – three fatal cards for the Russian oil and gas complex. *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical], 7, pp. 44–49. (In Russ.)
- Dushenin D., Milyaev D. (2018). Automation of the Analysis of the Efficiency of Geological Exploration for Oil and Gas. In *Geomodel 2018* (No. 1, pp. 1–5). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Gaida I.V., Mitrova T.A., et al. (2021). Decarbonization in the oil and gas industry: international experience and Russia's priorities. *Skolkovo Energy Centre*, 158 p. (In Russ.)
- Globerson S., Gold D. (2010). Statistical attributes of the power learning curve model. *International journal of production research*, 35(3), pp. 699–711. <https://doi.org/10.1080/002075497195669>
- Global Energy Transition for Russia – Opportunity or Danger? (2021). *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical]. (In Russ.). http://www.ngv.ru/pr/globalnyy-energoperekhod-dlya-rossii-vozmozhnost-ili-opasnost-institut-razvitiya-tehnologiy-tek-obr/?sphrase_id=3273313
- Russia's Climate Agenda: Responding to International Challenges (2021). (In Russ.). <https://www.csr.ru/ru/news/klimaticheskaya-povestka-rossii-reagiruya-na-mezhdunarodnye-vyzovy/>
- Kryukov V.A., Gorlov A.A. (2019). Forecasting the Development Process of Wind Energy in the North Sea Basin Based on Learning Curves. *Stud. Russ. Econ. Dev.*, 30, pp. 177–184. <https://doi.org/10.1134/S1075700719020084>
- Milyaev D.V., Kidanova O.A., Dushenin D.I. (2017). Determination of threshold values for the solution of the multiparametric problem of assessing the efficiency of geological exploration. *Mathematics in the Modern World*, pp. 567–567.
- Poryadin A.E., Beloglazova O. (2021). Global decarbonization: the evolution of approaches of oil and gas companies. *Ernst&Young*. (In Russ.). https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches/

Safonov G.V. (2020). Decarbonization of the world economy and Russia. *Neftegazovaya vertikal* [Oil and gas vertical], 21–22, pp. 66–70. (In Russ.)

Yelle L.E. (1979). The learning curve: Historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10, pp. 302–328. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1979.tb00026.x>

About the Authors

Valeriy A. Kryukov – DSc (Economics), Professor, Director, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
17, Ac. Lavrentiev ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation
e-mail: kryukov@ieie.nsc.ru

Dmitriy V. Milyaev – PhD (Economics), Head of the Geological and Economic Analysis Department, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
67, Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Anastasiya D. Savelieva – External PhD student, Engineer, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Engineer, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
67, Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Dmitriy I. Dushenin – PhD (Physics and Mathematics), Head of the Laboratory of Technical and Economic Assessment of Projects, Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources; Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
67 Krasniy ave., Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Manuscript received 15 July 2021;

Accepted 2 August 2021;

Published 30 August 2021

О возможностях запуска регионального пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики в Республике Татарстан

И.А. Макаров*, Е.Э. Музыченко

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

Декарбонизация мировой экономики – один из главных трендов глобального развития последнего десятилетия. Уже более 120 стран заявили о планах достижения углероднейтральности к середине века. Среди них – крупнейшие торговые партнеры России, включая Европейский союз, Китай, Японию, Республику Корея, Казахстан, а также США. Амбиции подкрепляются ужесточением углеродного регулирования: системы ценообразования на углерод выстроены уже в 64 странах и регионах. В крупнейшей такой системе – европейской – цена на углерод уже превысила 50 евро за тонну выбросов.

Значительные усилия в области декарбонизации предпринимаются на уровне многих отраслевых объединений (например, в гражданской авиации, морских перевозках, металлургии, нефтегазовой промышленности и т.д.), на уровне отдельных компаний (многие из них объявляют о целях обеспечения углероднейтральности и введении внутренних цен на углерод), а также на уровне финансового сектора. Развиваются стандарты раскрытия корпоративной информации о выбросах и о стратегиях их сокращения, в частности CDP и TCFD.

Параллельно разрабатываются способы давления на конкурентов, не желающих нести издержки, связанные с сокращением выбросов парниковых газов. Примером может выступать пограничный компенсационный углеродный механизм (СВАМ), который будет запущен Европейским союзом с 2023 г. Все эти тенденции означают, что низкий углеродный след продукции становится не просто бонусом в конкурентной борьбе, а необходимым условием присутствия любой компании на международном рынке. Компании с высоким углеродным следом сталкиваются с менее благоприятными условиями предоставления заемных средств, с пограничными барьерами, а также с растущим давлением со стороны покупателей, как корпоративных, так и индивидуальных.

В связи с этим развитие низкоуглеродной экономики в России является неизбежным для минимизации издержек, связанных с нарастающим регулированием на международных рынках. Особенную актуальность этот вопрос приобретает для экспортноориентированных регионов с высоким углеродным следом, к числу которых относится Республика Татарстан. По нашему мнению, запуск пилотного проекта по регулированию выбросов парниковых газов в этом регионе важен не только в целях непосредственного сокращения выбросов, он также может поддержать конкурентоспособность компаний Татарстана на международных рынках и способствовать привлечению инвестиций в регион как от российских, так и зарубежных инвесторов. В данной работе мы обосновываем необходимость запуска такого пилотного проекта. Вместе с тем, опираясь на действующий российский и международный опыт с одной стороны и отталкиваясь от особенностей экономики Республики с другой, мы демонстрируем схему, посредством которой такой проект может быть организован.

Ключевые слова: низкоуглеродная экономика, декарбонизация, пограничный компенсационный углеродный механизм, углеродный след, международных рынок, регулирование выбросов парниковых газов, пилотный проект

Для цитирования: Макаров И.А., Музыченко Е.Э. (2021). О возможностях запуска регионального пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики в Республике Татарстан. *Георесурсы*, 23(3), с. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.4>

Тренды декарбонизации

В условиях, когда изменение климата во всем мире признается одной из ключевых угроз, социально-экономическая политика страны на долгосрочную перспективу должна включать планы по декарбонизации экономики. Все большее число государств мира ставят цели по сокращению выбросов парниковых газов и внедряют механизмы углеродного регулирования. О планах по достижению углеродной нейтральности к середине века по состоянию на декабрь 2020 года заявляют 127 стран,

823 города, 101 регион и 1,5 тыс. компаний (World Bank. State and Trends of Carbon Pricing, 2021).

На международном уровне цели низкоуглеродного развития зафиксированы Парижским соглашением, которое вступило в силу в 2016 г. и уже ратифицировано 191 страной мира, в том числе Россией¹. Парижское соглашение ставит целью сдержать рост глобальной средней температуры в пределах 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем и приложить усилия к ограничению роста в пределах 1,5°C. В рамках соглашения

* Ответственный автор: Игорь Алексеевич Макаров
e-mail: imakarov@hse.ru

© 2021 Коллектив авторов

¹Status of Treaties. United Nations Treaty Collection. https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en

странами устанавливаются национально определяемые вклады – цели по сокращению выбросов, которые в совокупности и должны привести к достижению глобальной цели (Парижское соглашение..., 2015).

Для реализации поставленных целей по декарбонизации национальных экономик государства вынуждены внедрять инструменты регулирования выбросов парниковых газов, а предприятия для соблюдения требований и поддержания своей конкурентоспособности – различные решения по сокращению углеродоемкости выпускаемой продукции. В энергетической отрасли среди ключевых трендов низкоуглеродного развития – рост использования возобновляемых источников энергии, себестоимость которых кардинально снизилась за последнее десятилетие. В частности, за десятилетний период (к 2019 г.) стоимость генерации электроэнергии с использованием солнечных панелей сократилась на 82%, наземных и шельфовых ветряных станций – на 40% и 29%, соответственно (IRENA, 2021). В промышленных процессах продолжается внедрение энергосберегающих и материалосберегающих технологий, а на уровне организации промышленных систем – построение циклической экономики. В целях сокращения выбросов в транспортном секторе ряд стран стимулирует использование «зеленых» альтернатив, в частности внедряя различные налоговые льготы и субсидии для электромобилей и гибридных автомобилей, в то время как другие используют административные инструменты, вводя запреты на продажу автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Значительная тенденция к росту наблюдается и на рынке зеленого финансирования, способствующего реализации экологических и низкоуглеродных проектов: в 2020 году объем вновь выпущенных зеленых облигаций составил 297 млрд долл., а совокупный объем рынка превысил 1,2 трлн долл.²

В целях создания стимулов для сокращения эмиссии парниковых газов за рубежом широкое применение находят экономические механизмы климатического регулирования, в частности введение цены на углерод. В том или ином виде цена на углерод присутствует уже в 64 странах и регионах мира. Масштабы распространения цены на углерод растут: в 2020 году оборот углеродных рынков достиг 53 млрд долл., что на 8 млрд больше значений 2019 г. Цена на углерод покрывает уже около 22% мировых выбросов парниковых газов (World Bank. State and Trends of Carbon Pricing, 2021).

Несмотря на то, что все больше экономических субъектов ставят целью углероднейтральность и внедряют цену на углерод, текущие усилия все еще недостаточны для удержания роста глобальной температуры в пределах 2°C (World Bank. State and Trends of Carbon Pricing, 2021). В связи с этим климатическое регулирование будет и дальше расширяться и ужесточаться, обеспечивая больший охват отраслей и объемов выбросов, а также более высокую цену на них.

Расширение регулирования выбросов парниковых газов имеет самоподдерживающий характер. Компании, которые оказываются ему подвержены, проигрывают в конкурентоспособности тем, кто не несет издержек на декарбонизацию. Как следствие, первые настаивают на

дополнительных барьерах по отношению ко вторым. Аналогично, новые ограничения появляются в отношении бизнеса из стран, не желающих самостоятельно предпринимать усилия по сокращению выбросов. В частности, Европейский союз планирует введение пограничных барьеров для импортной продукции, при производстве которой образуются высокие удельные выбросы парниковых газов. Такой механизм получил название Carbon Border Adjustment Mechanism – СВМ (пограничный компенсационный углеродный механизм). Согласно документу, опубликованному Еврокомиссией 14 июля (Carbon Border Adjustment Mechanism, 2021), на первой стадии его внедрения под регулирование попадут электроэнергетика и углеродоемкая промышленность (цемент, удобрения, сталь и железо, алюминий), тем не менее не исключено, что в будущем охват продукции может быть расширен. Минэкономразвития России считает, что механизм затронет российский экспорт в ЕС в размере 7,6 млрд долл., включая поставки электроэнергии, железа, стали, алюминия, труб и цемента (Решетников, 2021).

В России декарбонизация имеет двоякую цель. С одной стороны, страна подвержена рискам изменения климата и, как и другие государства, должна быть заинтересована в сокращении выбросов парниковых газов для недопущения его дальнейшего усиления. С другой стороны, декарбонизация в глобальном масштабе ставит многочисленные угрозы перед действующей моделью экономического развития России. В частности, будет постепенно сокращаться спрос на российский экспорт энергоносителей (Макаров et al., 2020), а российские производители энергоемких товаров (металлов, удобрений, продукции химической промышленности и т.д.) будут сталкиваться с требованиями сокращения углеродного следа на международных рынках. Между тем, декарбонизация для России может выступать инструментом диверсификации национальной экономики и перехода на другую модель экономического развития, в большей степени способствующую экономическому росту в долгосрочной перспективе.

В России низкоуглеродная повестка активно развивается в последние несколько лет (Башмаков, 2020; Порфирьев и др., 2020). В 2016 году утвержден План реализации комплекса мер по совершенствованию государственного регулирования выбросов парниковых газов и подготовки к ратификации Парижского соглашения. В 2019 году Россия присоединилась к Парижскому соглашению. В 2021 году принят федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов». В процессе утверждения Стратегия долгосрочного экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов; происходит постепенная увязка планов сокращения выбросов с программами повышения энергоэффективности, поддержки возобновляемых источников энергии, развития зеленого финансирования. При этом, согласно взятой за основу этих усилий регуляторной рамке, федеральный уровень сосредоточен преимущественно на мягком регулировании, которое заключается в выстраивании системы учета и отчетности о выбросах парниковых газов, а также координации действий бизнеса и помощи ему в реализации проектов в области сокращения выбросов и их поглощения.

²Green Bonds Market 2021. <https://www.climatebonds.net/>

Многие компании, особенно присутствующие на международных рынках, предпринимают серьезные усилия по сокращению своего углеродного следа и развитию направления ESG (Environmental, Social and Governance – экологическое, социальное и корпоративное управление) в целом. Наиболее активно этим вынуждены заниматься компании из секторов, уязвимых перед СВАМ, а также компании нефтегазового сектора. Часть российских компаний присоединяется к стандартам раскрытия информации, связанной с выбросами и климатическими рисками, демонстрируя готовность вносить вклад в противодействие изменению климата.

Несмотря на действия властей и отдельных компаний, усилия России на текущий момент кажутся недостаточно амбициозными в сравнении с климатической политикой многих других стран мира. В частности, проект Стратегии долгосрочного экономического развития с низким уровнем выбросов парниковых газов содержит несколько сценариев развития климатического регулирования, в каждом из которых выбросы будут выше, чем в 2017 году³. Во многих международных рейтингах климатические усилия России также оцениваются на достаточно низком уровне. Так, в Climate Change Performance Index Россия занимает 52 место (из 61)⁴, в the Green Future Index – 73 место (из 76)⁵. Это несет за собой дополнительные риски на международных рынках.

Более жесткое регулирование, предполагающее постановку амбициозных целей сокращения выбросов и введение цены на углерод, пока только начинает отрабатываться на региональном уровне. В частности, пилотный проект по выстраиванию системы торговли выбросами, нацеленный на обеспечение углероднейтральности к 2025 г., запущен в Сахалинской области. Запуск схожих пилотных проектов обсуждается в Алтайском крае, Ханты-Мансийском автономном округе и Калининградской области. Подобный подход, начинающийся с региональных регуляторных схем, уже реализуется в ряде стран, включая Канаду, США, Австралию и особенно Китай, где создание 7 пилотных механизмов торговли квотами стало ступенью для запуска общенациональной системы.

Опыт региональных систем

Регионы заинтересованы в развитии низкоуглеродного регулирования по нескольким причинам. Во-первых, это средство поддержания конкурентоспособности их компаний на глобальных рынках, где к продукции предъявляются все более жесткие требования в отношении ее углеродного следа. Во-вторых, это способ привлечь в регион инвестиции от российских, а в перспективе и зарубежных компаний, вынужденных сокращать углеродный след своей продукции (например, для снижения

потерь от СВАМ, следования отраслевым регуляторным нормам или реагирования на требования потребителей продукции), но не способных сделать это исключительно за счет внутренних усилий. В России сокращать выбросы дешевле, чем в большинстве крупных экономик (кроме Китая и Индии), и лишь отсутствие регуляторных рамок как внутри страны, так и на наднациональном уровне сдерживает такой приток инвестиций. В-третьих, комплексные усилия по сокращению выбросов могут стать драйвером экономического роста региона – через развитие более современных технологий, которые одновременно являются и менее углеродоемкими.

Зачастую создание систем регулирования выбросов не на национальном уровне, а в рамках отдельных административных единиц имеет свои преимущества. В частности, формирование климатической политики на субнациональном уровне может позволить стране экспериментировать с различными системами и механизмами и избежать высоких и неоправданных издержек при создании масштабного общестранового регулирования, которое потенциально может оказаться не таким эффективным и более затратным. В некоторых сферах (например, твердые коммунальные отходы и транспорт) эффективность сокращения выбросов выше именно на региональном уровне, поскольку это приносит ясные сопутствующие выгоды населению. Также правительствам административных единиц проще адаптировать систему климатического регулирования под меняющиеся обстоятельства из-за более высокой гибкости таких систем.

Внедрение экономических механизмов регулирования, в частности системы торговли квотами на выбросы, в качестве инструмента климатической политики проще для экономик с меньшим масштабом и более высоким уровнем однородности. Это связано с тем, что при более однородной экономической системе появляется возможность более точно выбирать объекты регулирования, определить необходимый «потолок» выбросов, осуществлять мониторинг, управлять рынком торговли разрешениями и т.д. Другими словами, на базе рынков с меньшей диверсификацией климатическое регулирование может быть организовано наиболее эффективным образом с наименьшими издержками⁶. Во многих странах (например, в Китае, Канаде, США) формирование климатического регулирования начинается именно на уровне отдельных административных единиц – регионов, штатов, провинций и даже городов.

На сегодняшний день наиболее популярными механизмами регулирования являются экономические инструменты, основанные на введении цены на углерод. Их преимуществом является то, что сокращение выбросов происходит с наименьшими издержками, поскольку у экономических агентов есть возможность самостоятельно выбирать для себя наиболее эффективные и наименее ресурсозатратные способы.

Цена на углерод может быть установлена в форме углеродного налога или системы торговли квотами на выбросы. Углеродный налог представляет собой взимание

³Минэкономразвития России подготовило проект Стратегии долгосрочного развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (2020). Минэкономразвития России. https://www.economy.gov.ru/material/news/minekonomrazvitiya_rossii_podgotovilo_proekt_strategii_dolgosrochnogo_razvitiya_rossii_s_nizkim_urovнем_vybrosov_parnikovyh_gazov_do_2050_goda_.html

⁴Climate Change Performance Index. <https://ccpi.org/>

⁵The Green Future Index (2021). MIT Technology Review. https://www.technologyreview.com/2021/01/25/1016648/green-future-index/?utm_source=telegram.me&utm_medium=social&utm_campaign=indeks-zelenogo-buduschegoindex-zelenog

⁶IPCC: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

определенной платы за единицу выбросов, в то время как система торговли квотами предполагает фиксирование выбросов парниковых газов на определенном уровне, распределение разрешений на выбросы между эмитентами и торговлю ими. При превышении установленного порога выбросов компаниям придется докупать дополнительные разрешения, а при возникновении излишка разрешений они могут продать их: и то, и то создает предприятиям финансовые стимулы для сокращения выбросов.

Углеродный налог и системы торговли выбросами имеют свои преимущества и недостатки. Введение системы торговли выбросами (СТВ) позволяет с высокой точностью прогнозировать сокращение выбросов по сравнению с налогом, но при этом имеет более высокие издержки администрирования. При введении углеродного налога при этом компаниям проще оценить потенциальные издержки при отсутствии ограничений на выбросы, тогда как при СТВ возникает дополнительная неопределенность в результате колебания цен на квоты (Goulder, Schein, 2013). Для преодоления недостатков, связанных с обеими системами, рассматриваются также гибридные схемы, сочетающие в себе элементы углеродного налога и системы торговли квотами на выбросы.

Региональными системами углеродного регулирования используются оба подхода. В частности, углеродный налог на субнациональном уровне применяется в некоторых провинциях Канады (Британской Колумбии, Ньюфаундленде и Лабрадоре, Нью-Брансуике и Острове Принца-Эдуарда), штатах Мексики (Сакатекас, Нижняя Калифорния) и испанской Каталонии. Тем не менее, ввиду ограниченных во многих странах (включая Россию) полномочий регионов в части налоговой политики чаще используются системы торговли квотами на выбросы. Наиболее крупные СТВ на региональном уровне действуют в Калифорнии (США), Квебеке (Канада), а также в рамках Региональной инициативы по парниковым газам⁷ (Regional Greenhouse Gas Initiative – RGGI) на Северо-Востоке США⁸ (рис. 1).

Региональное углеродное регулирование различается не только по механизмам, применяемым для стимулирования сокращения выбросов экономическими агентами,

но и по объектам и объемам регулирования. Например, среди субнациональных систем торговли квотами на выбросы наблюдается высокая дифференциация по охвату регулируемых секторов и объему выбросов. Так, например, СТВ в Квебеке включает в себя 4 сектора (энергетика, промышленность, транспорт и жилищный сектор) и охватывает около 80% выбросов, в то время как в Токийской СТВ включены только 2 сектора (жилищный сектор и промышленность) с охватом лишь 20% выбросов (Emissions Trading Worldwide..., 2021).

Преимущества региональных СТВ можно проследить как в непосредственном сокращении выбросов парниковых газов, так и в синергетических эффектах: увеличении инновационной активности, снижении негативного влияния на здоровье населения, повышении энергетической безопасности. При этом опыт региональных СТВ демонстрирует и их совместимость с экономическим ростом, несмотря на распространенные опасения, что действия по сокращению выбросов могут подрывать темпы прироста экономики. Так, например, снижение углеродоемкости электроэнергетического сектора штатов-участников RGGI сократилось на 30% в 2008–2015 годах благодаря функционированию СТВ, в то время как экономика в аналогичный период увеличилась на 25% (Benefits of Emissions Trading..., 2018).

В Китае пилотный проект СТВ в 7 регионах страны в 2013–2014 годах окончился запуском крупнейшей в мире системы торговли квотами в 2021 году. Успех региональной СТВ Китая заключается, в частности, в ускорении зеленого технологического развития, что проявилось в увеличении количества «зеленых» патентов. Инновационная активность в сфере низкоуглеродных технологий увеличилась в стране в результате запуска пилотных СТВ не только за счет компаний, включенных в существующую конфигурацию программы, но и благодаря «эффекту перелива», который вынудил предприятия, рискующие попасть под регулирование, заранее позаботиться о технологических возможностях сокращения выбросов (Zhu et al., 2019). Аналогично, в ЕС инновационная активность в сфере низкоуглеродных технологий увеличилась на 10%, и при этом не был зафиксирован эффект вытеснения прочих технологий (Calel, Dechezleprêtre, 2014).

Таким образом, экономические механизмы регулирования имеют ряд существенных преимуществ, которые делают их привлекательными инструментами в международной политике по декарбонизации. Введение цены на углерод не только приводит к снижению углеродоемкости

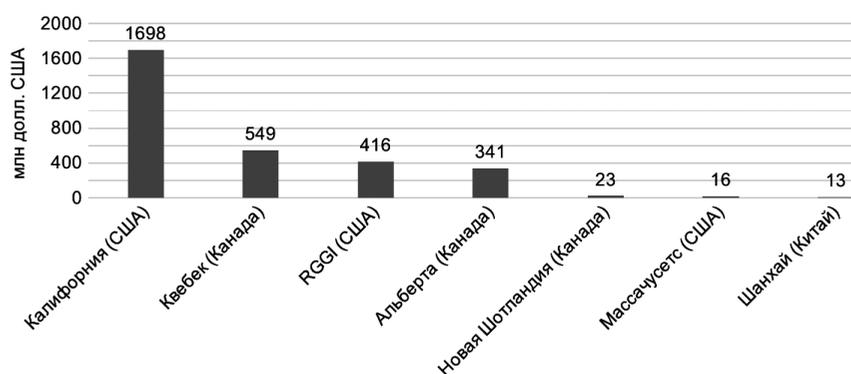


Рис. 1. Крупнейшие региональные СТВ по объемам выручки от торговли, млн долл. США, 2020 г. Источник: World Bank. State and Trends of Carbon Pricing, 2021.

⁷Участниками RGGI являются Коннектикут, Делавэр, Мэн, Мэриленд, Массачусетс, Нью-Гэмпшир, Нью-Джерси, Нью-Йорк, Род-Айленд, Вермонт и Вирджиния

⁸World Bank. Carbon Pricing Dashboard. https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data

экономики, но также несет с себе набор сопутствующих выгод, среди которых рост «зеленых» инноваций, улучшение качества воздуха и снижение заболеваний, привлечение инвестиций, поддержка конкурентоспособности на зарубежных рынках.

На сегодняшний момент в России углеродное регулирование на основе применения экономических инструментов ограничивается планами запуска пилотной СТВ в Сахалинской области с января 2022 г. Минэкономразвития России внесло законопроект о введение экспериментального регулирования в Сахалинской области, реализация которого предполагает достижение углеродной нейтральности к концу 2025 года. В проекте указано, что под регулирование попадут компании, выбросы которых составят 50 тыс. т CO₂ и более с 1 января 2023 г. и 20 тыс. т и более с 1 января 2025 г. (Федеральный закон..., 2019).

Возможная система в Татарстане

Татарстан – один из регионов, где пилотный проект в области низкоуглеродного развития был бы наиболее уместен. Регион имеет развитую диверсифицированную экономику, сочетающую мощную добывающую промышленность и обрабатывающий сектор, в том числе и наукоемкие отрасли.

Татарстан – 7й регион России по объему валового регионального продукта. Основными отраслями экономики региона являются добывающий сектор, на который приходится почти треть добавленной стоимости, а также обрабатывающие производства, составляющие около 16% валового регионального продукта (ВРП). При этом регион также является одним из крупнейших экспортных центров страны. Ключевыми товарными группами его экспорта является продукция топливно-энергетического комплекса и химической промышленности, добыча и производство которой характеризуется высокими удельными выбросами на единицу произведенной продукции. Данные отрасли имеют большое значение и для доходов регионального бюджета – поступления в бюджет Татарстана по налогу на прибыль, являющегося основной статьей доходов, от нефтедобычи и химических производств составляла более двух третей совокупных поступлений по данной статье в 2019 году (Отчет об исполнении бюджета Республики Татарстан..., 2019) (рис. 2).

Структура добавленной стоимости региона и экспортно-ориентированность Республики Татарстан обуславливают возможную заинтересованность региона во внедрении углеродного регулирования. В условиях предъявления все более жестких требований к углеродоемкой продукции на



Рис. 2. Отраслевая структура валовой добавленной стоимости Республики Татарстан, в %, 2018 г. Источник: Росстат

международных рынках, отсутствие внутреннего климатического регулирования может сказаться на положении экспортоориентированных компаний. Особенно важную роль в этой связи играет введение первого в мире механизма трансграничного регулирования СВМ в Европейском союзе, который является основным направлением экспортных поставок из Республики Татарстан (более 70% совокупного объема экспорта).

Поскольку лидерами экономики региона являются компании, работающие не только на российском рынке, но и за рубежом, они подвержены потенциальным барьерам, связанным с высоким углеродным следом, и сами вынуждены будут предпринимать меры по сокращению выбросов парниковых газов для обеспечения своей международной конкурентоспособности.

Некоторые крупнейшие компании Татарстана уже выделяют климатические риски в рамках своего стратегического планирования, а также заявляют о планах по сокращению выбросов. В частности, Татнефть стала участницей международной инициативы Science Based Targets initiative, созданной ООН, Фондом дикой природы и Всемирным институтом ресурсов. Компания планирует достичь углеродной нейтральности к 2050 году и последовательно сокращать выбросы. К 2025 году Татнефть ставит цель снизить углеродоемкость на 10%, к 2030 г. – на 20% по сравнению с базовым 2016 годом⁹. ПАО «Казаньоргсинтез» также заявлял о реализации инициатив по повышению энергоэффективности, которые имеют потенциал сокращения выбросов на 1 млн тонн CO₂ к 2020 году¹⁰. Компании региона также присоединяются к стандартам раскрытия информации, связанной с вопросами изменения климата – ПАО «Нижнекамскнефтехим» с 2016 года представляет углеродную отчетность по стандарту CDP (Carbon Disclosure Project). В 2021 году компания начала разработку климатической стратегии и также планирует присоединиться к раскрытию корпоративной информации по стандарту TCFD (Task Force on Climate-related Financial Disclosures – Рабочая группа по вопросам раскрытия финансовой информации, связанной с изменением климата)¹¹.

Несмотря на то, что некоторые компании реализуют стратегии по сокращению выбросов, большинство предприятий не имеет собственных целей ввиду отсутствия явных стимулов для сокращения углеродоемкости. Введение регулирования со стороны правительства Республики могло бы помочь создать необходимые для этого условия. Татарстан также заинтересован в том, чтобы усилия по сокращению выбросов, предпринимаемые компаниями Республики для выхода на зарубежные рынки,

⁹Климат и устойчивое энергетическое будущее. ПАО «Татнефть». <https://www.tatneft.ru/ustoychivoe-razvitie/klimat-i-ustoychivoe-energeticheskoe-budushchee/?lang=ru>

¹⁰Отчет об устойчивом развитии. ПАО «Казаньоргсинтез» (2015). https://www.kazanorgsintez.ru/upload/docs/otchet_ob_ustoychivom_razviti_2015.pdf

¹¹Забора об экологии: «Нижнекамскнефтехим» усиливает работу по сокращению выброса парниковых газов. *Реальное время*. <https://realnoevremya.ru/articles/213081-nizhnekamskneftehim-sokraschyaet-vybrosy-parnikovyh-gazov>

¹²World Bank. Carbon Pricing Assessment and Decision-Making: A Guide to Adopting a Carbon Price (2021)

концентрировались внутри нее, а не реализовывались вне региона из-за отсутствия должных регуляторных рамок.

При этом, в силу того что системных усилий по сокращению выбросов парниковых газов в регионе не предпринималось, существует потенциал дешевого сокращения выбросов, который может быть коммерциализован. Кроме того, масштабы экономики региона позволяют создать здесь работающие рыночные механизмы сокращения выбросов, основной плюс которых – обеспечение возможности сокращения выбросов там, где это дешевле всего (Макаров, Степанов, 2017). Помимо сокращения выбросов, рыночные механизмы будут способствовать привлечению инвестиций, повышению темпов экономического роста в результате инновационного развития, а также поддержанию конкурентоспособности компаний региона на международных рынках.

Существует проработанная схема построения любой системы углеродного регулирования¹². Она начинается с разработки системы мониторинга отчетности и верификации выбросов парниковых газов. Далее ставится цель по их сокращению и разрабатывается система стимулов, которая сподвигает компании обеспечить реализацию этой цели, причем с минимально возможными издержками. Эти стимулы могут быть различны: они варьируют от поддержки низкоуглеродных проектов до введения углеродного налога, а в большинстве случаев применяются в комбинации «кнута» и «пряника». Последний может включать в себя и целевую государственную поддержку инвестиций в конкретные низкоуглеродные технологии, на которых специализируются инновационные предприятия региона. Это позволит сделать декарбонизацию драйвером технологического развития Республики. «Пряник» может предлагаться не только на республиканском, но и на национальном уровне: в частности, проекты по сокращению выбросов в Татарстане могут пользоваться инструментами «зеленого» финансирования, разрабатываемыми Банком России и корпорацией развития «ВЭБ.РФ».

Отдельно разрабатывается схема зачета углеродных единиц (оффсетов), создающая возможности компаниям сокращать выбросы не только в своей основной деятельности, но и за ее пределами (в том числе за счет реализации проектов в жилищно-коммунальном хозяйстве, в области развития инфраструктуры или в области поглощения выбросов в лесном секторе). Система оффсетов в российских реалиях критически важна: она фактически позволяет объединить спрос на реализацию низкоуглеродных проектов, предъявляемый экспортоориентированными компаниями, заинтересованными в сокращении своего углеродного следа, с наиболее дешевыми проектами по сокращению выбросов, которые к тому же сопряжены со значимыми общественными выгодами: от модернизации муниципальных котельных до мер по борьбе с лесными пожарами.

При этом вся регуляторная рамка не только приводится в соответствие с российским законодательством в области регулирования выбросов и поглощений, но и гармонизируется с механизмами низкоуглеродного регулирования в других российских регионах и международными стандартами. Последнее необходимо для обеспечения учета этих механизмов в рамках СВМ и возможности привлекать внерегиональные и зарубежные инвестиции

в низкоуглеродные проекты.

Общая схема, представленная выше, имеет множество развилок в своей реализации, при прохождении которых необходим учет региональной специфики. Пилотный проект в сфере низкоуглеродного развития на уровне Республики должен базироваться на комплексном подходе, предполагающем совмещение инструментов регулирования выбросов (в том числе цены на углерод) с механизмами адаптации традиционных отраслей к вызовам «зеленого» развития, а также запуском процессов «зеленого» инвестирования. Для выработки деталей такого проекта необходимо совмещение усилий региональной администрации, бизнеса, а также центров компетенций как внутри Республики, так и за ее пределами.

Заключение

Проект по созданию Сахалинской системы торговли выбросами парниковых газов положил начало климатическому регулированию на территории Российской Федерации. Ряд регионов России уже выразили желание последовать этому примеру. Республика Татарстан также представляется перспективным регионом для создания пилотного проекта в области низкоуглеродного развития. Регион отличается высокой долей добывающей и обрабатывающей промышленности, преимущественно в сфере нефтепереработки, химической промышленности и машиностроения. Поскольку многие предприятия Республики ориентированы на продажу продукции на международных рынках, они будут нести издержки из-за трансграничного регулирования, которое будет введено в переходном виде в Европейском союзе уже начиная с 2023 года и в полную силу начиная с 2026 года. Вероятно, в будущем список продукции, являющейся предметом пограничного компенсационного углеродного механизма ЕС, будет расширяться, а аналогичные схемы появятся и в других странах. Это означает, что дополнительная нагрузка будет возлагаться на все большее число компаний региона, и внутреннее углеродное регулирование необходимо для минимизации данного риска.

Комплексные усилия по низкоуглеродному развитию Республики Татарстан принесут региону ряд преимуществ помимо непосредственно вклада в сокращение выбросов парниковых газов. Прежде всего, они позволят повысить конкурентоспособность компаний на международных рынках ввиду ужесточения требований к углеродоемкой продукции, которая доминирует в экспорте региона. Кроме того, будут созданы стимулы для развития технологий, которые с одной стороны будут способствовать сокращению выбросов, а с другой приведут к ускорению экономического роста. «Зеленое» развитие, особенно если Татарстан запустит его одним из первых среди российских регионов, позволит привлекать инвестиции как от российских инвесторов, так и международных, заинтересованных в сокращении собственного углеродного следа. Круг таких инвесторов постоянно растет и включает в себя крупнейшие авиа-, IT, нефтегазовые компании, возможности выхода на углероднейтральность которых за счет исключительно оптимизации внутренних процессов имеют технологические пределы.

Для построения эффективной системы углеродного регулирования в регионе потребуется создание системы

мониторинга и верификации выбросов, определение механизмов их сокращения, организации схемы зачета углеродных единиц. Необходимо также определение наиболее перспективных направлений «зеленого» развития, имеющих научную и технологическую базу внутри Республики, а также создание республиканских и использование национальных инструментов их стимулирования. Выстраивание комплексной схемы пилотного проекта по развитию низкоуглеродной экономики станет возможным только при координации действий республиканских властей, экспертных центров и бизнеса при поддержке федеральных органов власти.

Литература

- Башмаков И.А. (2020). Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики. *Вопросы экономики*, 7, с. 51–74. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
- Макаров И.А., Степанов И.А. (2017). Углеродное регулирование: варианты и вызовы для России. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*, 6, с. 3–22.
- Макаров И.А., Сулов Д.В., Степанов И.А., Серова Д.А. (2021). Поворот к природе: новая экологическая политика России в условиях зелёной трансформации мировой экономики и политики. Под ред. С.А. Караганова. М.: Международные отношения.
- Отчет об исполнении бюджета Республики Татарстан за 2019 год. https://gossov.tatarstan.ru/file/gossov/docs/other_6354.pdf
- Парижское соглашение. Рамочная конвенция ООН об изменении климата (2015). <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/109r.pdf>
- Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. (2020). Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России. *Мировая экономика и международные отношения*, 64(9), с. 15–25. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25
- Решетников М. (2021). Рассчитываем на содержательный диалог с Еврокомиссией по ТУРУ. Минэкономразвития России. https://economy.gov.ru/material/news/maksim_reshetnikov_rasschityvaem_na_soderzhatelnyy_dialog_s_evrokommissey_po_turu.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&nw=1626284676000
- Федеральный закон «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» от 26.07.2019 N 195-ФЗ
- Benefits of Emissions Trading: Taking Stock of the Impacts of Emissions

- Trading Systems Worldwide (2018). ICAP. https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=575
- Calel R., Dechezleprêtre A. (2014). Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European carbon market. https://personal.lse.ac.uk/dechezle/Calel_Dechezlepretre_2014.pdf
- Carbon Border Adjustment Mechanism (2021). European Commission. https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en
- Emissions Trading Worldwide. ICAP Status Report (2021). Berlin: International Carbon Action Partnership. <https://icapcarbonaction.com/en/icap-status-report-2021>
- Goulder L.H., Schein A. (2013). Carbon Taxes vs. Cap and Trade: A Critical Review. <https://ssrn.com/abstract=2308219>
- IRENA (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. file:///C:/Users/Daria/Desktop/TEMP/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- Makarov I.A., Chen H., Paltsev S. (2020). Impacts of climate change policies worldwide on the Russian economy. *Climate Policy*, 20(10), pp. 1242–1256. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1781047>
- World Bank. State and Trends of Carbon Pricing (2021). Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>
- Zhu J., Fan Y., Deng X. et al. (2019). Low-carbon innovation induced by emissions trading in China. *Nat Commun*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12213-6>

Сведения об авторах

- Игорь Алексеевич Макаров* – доцент, руководитель департамента мировой экономики, заведующий научно-учебной лабораторией экономики изменения климата
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, Москва, М. Ордынка ул., д. 17
- Евгения Эдуардовна Музыченко* – стажер-исследователь, научно-учебная лаборатория экономики изменения климата
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, Москва, М. Ордынка ул., д. 17

Статья поступила в редакцию 19.07.2021;
Принята к публикации 02.08.2021;
Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

On the possibilities of launching a regional pilot project for the development of a low-carbon economy in the Republic of Tatarstan

I.A. Makarov, E.E. Muzychenko*

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation

**Corresponding author: Igor A. Makarov, e-mail: imakarov@hse.ru*

Abstract. Decarbonization is one of the main trends in global development of the last decade. More than 120 countries have already announced plans to achieve net-zero emissions by the middle of the century. Among them are Russia's largest trading partners, including the European Union, China, Japan, the Republic of Korea, Kazakhstan, as well as the United States. These ambitions are supported by a tightening carbon regulation: carbon pricing has already been set up in 64 countries and regions. In the largest emissions trading system – the European one – carbon price has already exceeded 50 euros per ton of emissions.

Significant effort in decarbonization has been taken in many industries (e.g., civil aviation, maritime transport, oil and gas industry), companies (which set up carbon neutrality targets and introduce internal carbon pricing) and the financial sector. Standards for corporate information disclosure about emissions and strategies for their reduction, in particular CDP and TCFD, are being developed and adopted. At the same time, ways to put pressure on competitors who do not want to bear the costs associated with reducing greenhouse gas emissions are being developed. For example, the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) will be launched by the

European Union in 2023. All these trends mean that products with low carbon footprint become not just a competitive advantage for a company, but also an inevitable condition for its presence on the international market. Companies with a high carbon footprint face less favorable conditions of borrowing, as well as trading barriers and growing pressure from customers both corporate and individual.

In this regard, the development of low-carbon economy in Russia is inevitable to minimize the costs associated with tightening regulation. It is becoming particularly relevant for export-oriented regions with large emissions, including the Republic of Tatarstan. In our opinion, the launch of a pilot project to regulate greenhouse gas emissions in this region is important not only for GHG reduction itself, but also for increasing competitiveness of Tatarstan companies on international markets and attracting investment from both Russian and foreign investors. In this paper, we explain the need to launch such a pilot and relying on the existing Russian and international experience on the one hand and taking into account the characteristics of Tatarstan's economy on the other, we demonstrate a scheme by which such a project can be organized.

Keywords: low-carbon economy, decarbonization, Carbon Border Adjustment Mechanism, carbon footprint, international markets, GHG emissions regulation, pilot project

Recommended citation: Makarov I.A., Muzychenko E.E. (2021). On the possibilities of launching a regional pilot project for the development of a low-carbon economy in the Republic of Tatarstan. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 24–31. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.4>

References

- Bashmakov I.A. (2020). Russian low carbon development strategy. *Voprosy ekonomiki*, 7, pp. 51–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-7-51-74>
- Benefits of Emissions Trading: Taking Stock of the Impacts of Emissions Trading Systems Worldwide (2018). ICAP. https://icapcarbonaction.com/en/?option=com_attach&task=download&id=575
- Budget implementation report of the Republic of Tatarstan for 2019. (In Russ.). https://gossob.tatarstan.ru/file/gossob/docs/other_6354.pdf
- Calel R., Dechezleprêtre A. (2014). Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European carbon market. https://personal.lse.ac.uk/dechezle/Calel_Dechezlepretre_2014.pdf
- Carbon Border Adjustment Mechanism (2021). European Commission. https://ec.europa.eu/info/files/carbon-border-adjustment-mechanism_en
- Goulder L.H., Schein A. (2013). Carbon Taxes vs. Cap and Trade: A

Critical Review. <https://ssrn.com/abstract=2308219>

Emissions Trading Worldwide. ICAP Status Report (2021). Berlin: International Carbon Action Partnership. <https://icapcarbonaction.com/en/icap-status-report-2021>

IRENA (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. file:///C:/Users/Daria/Desktop/TEMP/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

Makarov I.A., Chen H., Paltsev S. (2020). Impacts of climate change policies worldwide on the Russian economy. *Climate Policy*, 20(10), pp. 1242–1256.

Makarov I.A., Stepanov I.A. (2017). Carbon Regulation: Options and Challenges for Russia. *Moscow University Economics Bulletin*, 6, pp. 3–22. (In Russ.)

Makarov I.A., Suslov D.V., Stepanov I.A., Serova D.A. (2021). Turn to nature: Russia's new environmental policy in the context of the green transformation of the world economy and politics. Ed. S.A. Karaganova. Moscow: "Mezhdunarodnye otnosheniya" (In Russ.)

On Conducting an Experiment on Quotas for Pollutant Emissions and Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation to Reduce Air Pollution. Federal Law (2019). 26.07.2019 N 195-FZ (In Russ.)

Paris Agreement (2015). United Nations Framework Convention on Climate Change. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Porfir'ev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. (2020). Low-Carbon Development Strategy: Prospects for the Russian Economy. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*, 64(9), pp. 15–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25>

Reshetnikov M. (2021). We look forward to a meaningful dialogue with the European Commission on the EU Carbon Border Adjustment. Ministry of Economic Development of Russia (In Russ.). https://economy.gov.ru/material/news/maksim_reshetnikov_rasschityvaem_na_soderzhatelnyy_dialog_s_evrokommissey_po_turu.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&nw=1626284676000

World Bank. State and Trends of Carbon Pricing (2021). Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>

Zhu J., Fan Y., Deng X. et al. (2019). Low-carbon innovation induced by emissions trading in China. *Nat Commun*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12213-6>

About the Authors

Igor A. Makarov – Associate Professor, Head of the School of World Economy, Head of the Laboratory for Economics of Climate Change

National Research University Higher School of Economics
17, M. Ordynka st., Moscow, Russian Federation

Evgeniya E. Muzychenko – Research Assistant, Laboratory for Economics of Climate Change

National Research University Higher School of Economics
17, M. Ordynka st., Moscow, Russian Federation

Manuscript received 19 July 2021;

Accepted 2 August 2021; Published 30 August 2021

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.5>

УДК 622.276

О первоочередных мерах повышения инвестиционной привлекательности нефтепоисковых работ в условиях энергоперехода

А.В. Соколов

ООО «ПЕТРОГЕКО», Нижневартовск, Россия
e-mail: sokolov@petrogeco.ru

Стране необходимы свежие рентабельные запасы «здесь и сейчас», способные замедлить темп падения добычи нефти. В этой связи, распорядителю недр необходимо срочно принимать кардинальные меры, направленные на привлечение инвестиций в нефтепоисковые работы и ускорение этого процесса. Все надежды связаны только с независимыми инвесторами, обладающими наибольшим потенциалом для ускорения и наращивания поисковой активности. Для стимулирования нефтепоисковых работ распорядителю недр необходимо сделать несколько шагов навстречу независимым инвесторам.

Ключевые слова: нефтепоисковые работы, геологоразведочные работы, независимые инвесторы, энергопереход, рентабельные запасы, инвестиции, нефтедобыча, Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов

Для цитирования: Соколов А.В. (2021). О первоочередных мерах повышения инвестиционной привлекательности нефтепоисковых работ в условиях энергоперехода. *Георесурсы*, 23(3), с. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.5>

Усиление мер по декарбонизации во многих странах и связанное с этим активное развитие альтернативных видов источников энергии, возможно, приведёт к вытеснению и полному замещению доли нефти из общего энергобаланса многих стран к 2040 году. В этой связи, сроки реализации отечественных нефтепоисковых проектов, возможно, еще до окончания геологоразведочного процесса, попадут в зону экономической недоступности. Учитывая, что длительность поисков и разведки нефтегазовых месторождений занимает 10 и более лет, в ближайшее двадцатилетие геологоразведочные работы (ГРП), стоящие в начале всего процесса подготовки к нефтедобыче, будут наиболее уязвимыми с точки зрения обесценения инвестиций.

В этой связи, сроки реализации отечественных грандиозных и затратных нефтепоисковых проектов, для исполнения которых запрашиваются триллионы бюджетных рублей и бесконечные льготы по освобождению от налогов, возможно, еще до окончания геологоразведочного процесса попадут в зону экономической недоступности.

Следует признать, что предложенные распорядителем стимулирующие меры по увеличению объемов ГРП и повышению качества открываемых запасов нефти так и не дали должного результата. Кроме того, остались на бумаге нереализованные объемы инвестиций, необходимые для освоения ресурсной базы и, соответственно, объем налоговых поступлений в бюджет. Очень красноречиво об этом говорят сведения на примере ХМАО-Югра (табл. 1)

Между тем, ситуация в отечественной нефтедобыче свидетельствует о неумолимом приближении долгосрочного тренда снижения добычи. Существует множество прогнозов на этот счет, но все авторы этих расчетов единодушны в том, что без новых месторождений темпы падения добычи будут еще более существенными. В

качестве иллюстрации на рисунке 1 приводится один из прогнозов Минэнерго.

Сегодня официальными мейнстримами, где государство ждет прироста свежих нефтяных запасов, способных, как ожидается, упредить тенденцию падения добычи, объявлены Баженовский проект, Арктический шельф и Арктическое побережье Карского моря. Под эти направления уже выданы и обещаны многомиллиардные бюджетные субсидии и налоговые преференции, созданы центры компетенций и национальные проекты.

Между тем, по Баженовскому проекту промышленные эксперименты пока продолжаются, и объявленные прогнозы только ожидают своего подтверждения. Таким образом, вовлечение Баженовской свиты в активную разработку остается далеко за горизонтом долгосрочного планирования, и вклад в ближайшую добычу будет ничтожным.

Арктический шельф со всеми своими экологическими и технологическими ограничениями если когда-то и выдаст промышленную нефть, то в обозримом будущем сможет давать не более 10–12 млн тонн добычи, что явно недостаточно. Открытые шельфовые нефтяные месторождения

Поисковая зона ХМАО-Югра	Ожидаемый объем инвестиций, необходимый для освоения ресурсов, млрд. руб.	Ожидаемый объем налоговых поступлений в бюджет в результате освоения ресурсов, млрд. руб.
Колтогорская	7,09	115,6
Казымская	37,46	656,89
Октябрьская	7,29	142,52
Александровская	3,87	72,61
Юганская	6,86	141,26
Всего	62,57	1128,88

Табл. 1. Ожидания инвестиций в нефтепоисковые работы и налоговых поступлений в бюджет (по материалам ЦРН ХМАО-Югра им. В.И. Штильмана, 2018)

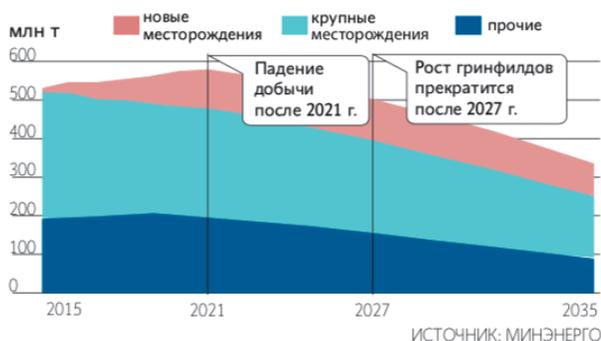


Рис. 1. Прогноз уровней добычи в РФ (по материалам Минэнерго, 2015)

– Победа (Карское море, 2014) и Центрально-Ольгинское (Море Лаптевых, 2017), по всей вероятности, никогда не будут введены в разработку.

Возведенная в ранг государственной идеи годовая загрузка Северного морского пути до 80 млн тонн грузооборота целиком зависит от размера транспортировки добытой нефти с Пайяхского кластера месторождений вдоль побережья Карского моря и, возможно, с других арктических шельфовых проектов. Несмотря на то, что на государственный баланс в 2019 году поставлены 1,2 млрд извлекаемых запасов, их еще надо превратить в доказанные. А на это потребуются десятилетие и огромные физические объемы глубокого бурения. И какой при этом будет коэффициент подтверждаемости запасов, еще только предстоит выяснить.

В свете вышесказанного, очевидно, что стране необходимы свежие рентабельные запасы «здесь и сейчас», способные компенсировать или хотя бы как-то замедлить темп падения добычи нефти. В этой связи, распорядителю недр необходимо срочно принимать кардинальные меры, направленные на вовлечение инвестиций в нефтепоисковые работы и ускорение этого процесса.

Следует сказать, что участие государства в масштабном финансировании нефтепоисковых работ в ближайшей и среднесрочной перспективе представляется невозможным и нецелесообразным. По разным причинам. Начиная с 2003 года, как был отменен налог на воспроизводство минерально сырьевой базы, государство присутствует в геологоразведке лишь символически, ограничиваясь региональными работами, да и то в не должном объеме.

Не следует ждать увеличения объемов высокорисковых нефтепоисковых работ и со стороны нефтяных компаний, т.к. поисковый потенциал их лицензионных участков практически исчерпан. Как показывает опыт прошлых лет, в основной своей массе размеры открытий, их запасы, становятся все более маргинальными. В итоге, многие месторождения уже при открытии являются нерентабельными, а их ввод в разработку затягивается на многие десятилетия.

Так, из материалов Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ФБУ «ГКЗ») следует, что в период с 2000 по 2016 гг. в РФ было открыто 850 месторождений нефти и газа, из них 18% открытых месторождений введены в разработку в течение 5 лет; 7% – в течение 10 лет и 1% – в течение 15 лет. 54% открытых месторождений не введены в разработку, а об остальных 20% открытых месторождений в государственном балансе нет данных о сроке ввода в разработку (рис. 2).

Статистика свидетельствует, что нефтяные компании подавляющий объем прироста запасов углеводородов (УВ) обеспечивают на своих разрабатываемых месторождениях.

Таким образом, фактически, все надежды по восстановлению минерально-ресурсной базы связаны только с третьей группой игроков на рынке недропользования – независимыми инвесторами. Однако показывает жизнь – даже самые непоколебимые оптимисты уходят из этого сегмента рынка. Почему это происходит?

Во-первых, текущее финансирование поисковых работ в рамках лицензии на геологическое изучение недр стало происходить, как правило, за счет капитала основных владельцев, т.к. в стране практически полностью исчезла возможность привлечения инвестиций по разным причинам.

Регулярные совещания у распорядителя недр про необходимость развития юниорных геологоразведочных компаний, привлечение рыночных механизмов, таких как биржи и финансовые институты, создание информационно-торговых площадок, и т.д. и т.п. пока остаются разговорами и планами на бумаге.

Во-вторых, выдавая свидетельство о факте открытия месторождения в рамках лицензии на геологическое изучение недр, государство признает, что для конкретного участка недр была создана прибавочная стоимость за счет средств независимого инвестора. Однако на капитализацию компании инвестора это никак не влияет, поскольку в рамках пятилетней лицензии на геологическое изучение запрещена любая коммерческая деятельность. В итоге, в течение всего периода нефтепоисковых работ, стоимость нефтепоисковых компаний имеет «мусорные» значения.

В-третьих, «финальным ударом» по мотивации независимых инвесторов к финансированию нефтепоисковых работ является необходимость выплаты разового платежа по факту открытия месторождения в рамках лицензии на геологическое изучение. Если новое месторождение окажется достаточно крупным по запасам, размер платежа будет соизмерим, а иногда может даже превысить стоимость поисковых работ. Этот платеж обязателен, если компания хочет сохранить право недропользования на открытое месторождение. Но уже в ином статусе – нефтедобывающей организации. Если же разовый платеж не будет уплачен, то это квалифицируется как нарушение существенных лицензионных условий, и, соответственно, лицензия будет досрочно отозвана.

И наконец, в-четвертых, следует признать, что в настоящее время наблюдается абсолютная девальвация оценок ресурсного потенциала. Так, в частности, на

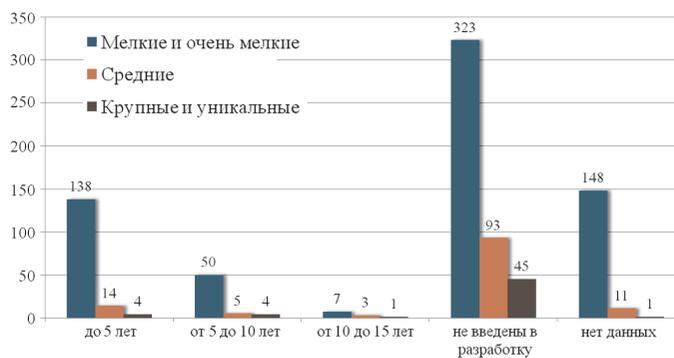


Рис. 2. Динамика вовлечения открытых месторождений в разработку с 2000 по 2016 гг. (по материалам ФБУ ГКЗ РФ, 2017)

государственном балансе РФ (на 01.01.2018) числится 13 млрд т перспективных ресурсов (Д0) и 45 млрд т прогнозных ресурсов (Д1+Д2). Сколько из них рентабельных? Нужно ли их опосредовать любой ценой? Ответов нет.

В этом плане показательна статистика по ХМАО-Югре. Из 1727 шт. ловушек УВ 94% имеют ресурсы менее 3 млн т., половина из которых находится в отложениях нижней и средней юры, очень сложных по своему геологическому строению. Т.е. изначально понятно, что подтверждаемость этих оценок будет крайне низкой. По-сути, практически весь фонд локальных ловушек ХМАО-Югра находится за порогом рентабельности при текущей налоговой конъюнктуре. Этой неразберихой в ресурсных оценках пользуются недобросовестные игроки, которые проникли на рынок геологического изучения. В итоге, каждые пять лет происходит обновление состава независимых недропользователей практически наполовину (табл. 2). На поисковые участки приходят новые компании, не имеющие ни лицензий, ни опыта работы на территории округа.

Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Итого
Выдано	13	14	8	20	25	7	28	115
Аннулировано	12	5	5	14	10	3	4	53

Табл. 2. Оборачиваемость поисковых лицензий типа НП в ХМАО-Югре (по материалам ЦРН ХМАО-Югра им. В.И. Штильмана, 2016)

Тем не менее, несмотря на вышеописанные проблемы, многолетний опыт автора в практической геологоразведке позволяет утверждать – наибольшим потенциалом для ускорения и наращивания поисковой активности обладают именно венчурные компании, которые не планируют становиться нефтяниками. И ограничивают свой бизнес только проведением нефтепоисковых работ.

И чтобы привлечь независимых предпринимателей в недропользование и стимулировать поисковые работы на нераспределенном фонде недр, необходимо создать условия для увеличения инвестиционной привлекательности этого бизнеса.

Для этого, распорядителю недр необходимо сделать четыре шага навстречу независимым инвесторам.

Шаг Первый: Отменить необходимость оплаты разового платежа за открытие в рамках лицензии на геологическое изучение для тех недропользователей, которые заранее откажутся, в случае открытия месторождения, от переоформления лицензии на разведку и добычу. При этом исключительное право продажи открытых запасов оставить за государством.

Для этого, необходимо ввести в обиход понятие «Независимая геологоразведочная компания» (НГРК). Этот статус должен присваиваться юридическому лицу, получившему лицензию на геологическое изучение недр, согласно Приказу МПР России от 15.03.2005 N 61 (ред. от 27.01.2014).

Распределение средств, полученных от продажи месторождения на аукционных торгах, будет происходить между НГРК и государством по заранее обдуманной формуле.

В предложенном сценарии государство, выступая гарантом и посредником, получает возможность по итогам аукциона получить доход, сопоставимый с размерами разовых платежей. В свою очередь, независимые

компании, в случае открытия и продажи рентабельных запасов, не только компенсируют понесенные затраты, но и получают существенную прибыль. Также появляется основа для капитализации независимых поисковых компаний уже в процессе пятилетнего цикла проведения нефтепоисковых работ.

Кроме того, имеется целый ряд дополнительных положительных косвенных эффектов. Так, в частности, за счет ожидаемых размеров открытых запасов и их рентабельности появляется основа для повышения капитализации независимых поисковых компаний уже в процессе пятилетнего цикла проведения ГРП.

Возрастание количества венчурных компаний в лице НГРК приведет к увеличению заказов на сейсморазведочные работы и глубокое бурение, поскольку их собственники объективно должны быть заинтересованы в повышении культуры производства и научно-техническом сопровождении ГРП.

Шаг Второй: Признание факта открытия месторождения на суше без спуска эксплуатационной колонны.

На протяжении десятилетий все отечественные классификации запасов (в т.ч. и действующая: Классификация запасов и ресурсов..., 2013) считают запасы доказанными и признают факт открытия месторождения только после получения промышленного дебита нефти в процессе испытания продуктивного пласта в эксплуатационной колонне. И это было справедливо. Однако развитие технологий опробования пластов на кабеле позволило с одинаковой степенью достоверности оценивать промышленный потенциал объекта так же, как и в колонне. Это ускоряет и удешевляет процесс изучения недр. Не случайно, запасы последних нефтяных открытий на шельфе морей Карского, Лаптевых, Сахалина были приняты по результатам опробования пластов на кабеле. Смысл нововведения понятен – в условиях короткой навигации, сложной ледовой обстановки, времени на спуск колонны в поисковой скважине, нагруженной большой программой исследовательских работ (отбор керна, каротажи), уже не остается.

По глубокому убеждению автора настоящей публикации, назрела насущная необходимость распространить эту возможность и на поисковые скважины, пробуренные на суше. В условиях большой удаленности, большой геологической нагрузки, ограниченного времени действия зимников для мобилизации-демобилизации бурового станка, подобное решение существенно удешевит поисковое бурение.

Для реализации этого предложения необходимо всего лишь изменить и дополнить некоторые пункты регламентных документов, а именно:

В классификации запасов (Классификация запасов и ресурсов..., 2013):

Убрать из п.15 фразу: «...на акваториях морей, в том числе на континентальных шельфах морей Российской Федерации в территориальных водах, во внутренних морских водах, а также Каспийском и Азовском морях...»

и читать п.15: «Для открываемых месторождений к запасам категории С1 относят залежь/часть залежи, вскрытую первой поисковой скважиной, в которой получены качественные результаты гидродинамического каротажа (ГДК), позволяющего оценить характер насыщенности пласта».

В методических рекомендациях по применению новой

классификации (Классификация запасов и ресурсов..., 2013):

Убрать из п. 36 з) фразу: «...в акваториях морей, в том числе на континентальном шельфе РФ, в территориальных водах, во внутренних морских водах, а также в Каспийском и Азовском морях...»

и читать: «Для открываемых месторождений в первых поисковых скважинах допускается исследование пластоиспытателями на кабеле.»

Убрать из п. 48 фразу: «...(исключения составляют месторождения в акваториях морей, в том числе на континентальном шельфе РФ, в территориальных водах, во внутренних морских водах, а также в Каспийском и Азовском морях)...».

Шаг Третий: Отменить запрет на бурение ниже горно-го отвода для изучения глубокозалегающих горизонтов.

Этот запрет резко тормозит процесс поисков нефти в глубокозалегающих горизонтах на длительно разрабатываемых месторождениях. Сейчас для этого нужна отдельная поисковая лицензия. Сложно себе представить в условиях практики недропользования, что какой-то посторонний инвестор захочет заняться поисками нефти на месторождении, которое разрабатывает другая компания.

Однако сейчас процесс получения отдельной поисковой лицензии и связанное с этим создание и согласование отдельных проектных решений, существенно тормозит и мешает изучению недр.

Шаг четвертый: разработать методические решения экономической эффективности открываемых и разведанных запасов.

В настоящий момент на государственном балансе запасов по категориям В2+С2 – 12,1 млрд т извлекаемых (без Пайяхи и Западно-Иркинского месторождений). Смогут ли они стать поставщиками свежих запасов в ближайшей перспективе? К сожалению, сегодня отсутствуют признанные распорядителем недр методические решения экономической оценки открываемых и разведанных запасов,

что в итоге делает невозможным понимание дальнейшего экономически оправданного освоения таких запасов.

В описанных выше предложениях нет просьб на дополнительное бюджетное финансирование или же получение особых льгот. Нужны только действия распорядителя недр на создание условий для внедрения реальных рыночных механизмов.

Реализация предложенных шагов будет способствовать решению главных задач – ускорению поисковых работ, увеличению прироста запасов нефти за счет открытий новых месторождений. Возрастание количества НГРК приведет к увеличению заказов на сейсморазведочные работы и глубокое бурение. Собственники НГРК будут крайне заинтересованы в повышении культуры производства и научно-техническом сопровождении работ, поскольку рыночная стоимость НГРК в процессе пятилетнего периода проведения ГРП уже может стать существенной, что будет способствовать привлечению инвестиций. Что, в свою очередь, повысит мотивацию проведения нефтепоисковых работ и будет способствовать формированию новой бизнес среды, которая будет стимулировать возникновение и развитие творчески мыслящих профессиональных команд, обладающих безупречной репутацией и способных управлять геологоразведочным процессом.

Литература

Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов (2013). Нормативно-методическая документация. Издание второе. М., 500 с.

Сведения об авторе

Александр Владимирович Соколов – канд. геол.-мин. наук, директор по геологоразведке, ООО «ПЕТРОГЕКО» Россия, 628606, ХМАО-Югра, Нижневартовск, ул. Самотлорная, д. 20

Статья поступила в редакцию 26.07.2021;
Принята к публикации 02.08.2021;
Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

On top-priority measures to improve the investment attractiveness of oil prospecting in energy transition

A.V. Sokolov

*Petrogeco JSC, Nizhnevartovsk, Russian Federation
e-mail: sokolov@petrogeco.ru*

Abstract. The country needs new, profitable «here and now» reserves that can slow the rate of oil production decline. In this regard, the subsoil manager urgently needs to take fundamental measures to raise investment in oil prospecting and to speed up the process. All hopes rest upon independent investors who have potential to accelerate and increase prospecting activity. In order to stimulate oil prospecting, the subsoil manager needs to take several steps towards independent investors.

Keywords: oil prospecting, exploration, independent investors, energy transition, profitable reserves, investments, oil production, classification of oil and combustible gas reserves and resources

References

Classification of oil and combustible gas reserves and resources (2013). Regulatory and guidance documentation. II ed. Moscow, 500 p. (In Russ.)

Recommended citation: Sokolov A.V. (2021). On top-priority measures to improve the investment attractiveness of oil prospecting in energy transition. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.5>

About the Author

Alexander V. Sokolov – PhD (Geology and Mineralogy), Director for Geological Exploration
Petrogeco JSC
20, Samotlornaya st., Nizhnevartovsk, Khanty-Mansi Autonomous Area–Yugra, 628606, Russian Federation

Manuscript received 26 July 2021;
Accepted 2 August 2021;
Published 30 August 2021

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.6>

УДК 630:504.7

Поглощение углерода лесами регионов Поволжья и Сибири: состояние и перспективы

А.И. Пыжжев^{1,2}, Е.А. Ваганов¹*¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия²Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия

Перспектива экономического развития России будет неразрывно связана с успешностью участия страны в реализации глобальных климатических инициатив. Формируемая в настоящий момент стратегия развития национальной экономики с низким уровнем выбросов парниковых газов подразумевает наиболее полное использование потенциала поглощения углерода лесными экосистемами, в том числе за счет реализации различных лесоклиматических проектов. В статье показано, что несмотря на самые большие в мире лесные площади, углерод-поглощающая способность российских лесов не может сбалансировать антропогенные выбросы парниковых газов. На примерах нескольких регионов Поволжья и Сибири рассмотрена пространственная динамика бюджета углерода лесов в 2010-х гг. Для богатых бореальными лесами регионов Сибири наблюдается существенная диспропорция между количественными и качественными характеристиками лесных ресурсов и поглощающей способностью, которая объясняется неэффективным режимом лесохозяйствования на территории и высокой интенсивностью лесных нарушений. С учетом того, что выстраивание результативной системы борьбы с лесными пожарами и насекомыми-вредителями требует очень объемных и дорогостоящих мероприятий, эффективность которых оценить затруднительно, помимо использования потенциала наращивания поглощения углерода в традиционных лесных регионах при реализации лесоклиматических проектов следует обратить внимание и на малолесные районы.

Ключевые слова: экономика климатических изменений, лесные экосистемы, углерод-поглощающая способность лесов, бюджет углерода, парниковые газы, Россия, глобальные климатические инициативы, лесоклиматические проекты

Для цитирования: Пыжжев А.И., Ваганов Е.А. (2021). Поглощение углерода лесами регионов Поволжья и Сибири: состояние и перспективы. *Георесурсы*, 23(3), с. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.6>

Введение. Актуальность проблемы глобальных климатических изменений и их влияния на различные аспекты общественной и экономической жизни перестала вызывать сомнение в последние годы. Неминуемое внедрение в практику международной экономической деятельности регулирования, связанного с учетом эмиссии и поглощения парниковых газов отдельными предприятиями, регионами и странами, актуализирует проблему корректного учета составляющих углеродного бюджета, а также активных мер по сокращению выбросов парниковых газов различными способами. Политические руководители ведущих экономик мира в последнее время соревнуются в формулировании национальных целей и вкладов в решение проблемы глобального потепления, пытаясь сбалансировать амбициозность провозглашаемых обещаний и возможность их практической реализации (Rogelj et al., 2021). Разумеется, данная тематика вызывает пристальное внимание всего академического сообщества и требует комплексного, междисциплинарного ответа на многие вопросы (Данилов-Данильян и др., 2020).

Для России данная проблема особенно важна в силу следующих причин. Во-первых, наша страна является четвертым в мире эмитентом парниковых газов после Китая, США и Индии (по данным за 2019 год, валовые выбросы составили 2 119,4 млн т CO₂-эквивалента). Во-вторых,

динамика выбросов за последние годы достаточно устойчива и не имеет выраженной тенденции к сокращению. В-третьих, проектируемые в настоящее время системы трансграничного углеродного регулирования подразумевают взимание основной части платы за выбросы парниковых газов преимущественно с производителей первичных природных ресурсов, что угрожает прежде всего странам с сырьевой структурой экономики (Порфирьев и др., 2020; Колпаков, 2021; Широ и др., 2021).

В соответствии с нормами IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Межгосударственная группа экспертов по изменению климата), учет углеродного бюджета ведется на уровне отдельных стран, при этом нормы Парижского климатического соглашения 2015 года подразумевают, что страны вправе самостоятельно определять национальный вклад в борьбу с глобальным потеплением. Для России цель сформулирована следующим образом: к 2030 году необходимо обеспечить сокращение выбросов до 70% от уровня 1990 года. Известно, что данная цель была фактически достигнута еще к концу 1990-х гг. по причине ликвидации множества советских промышленных предприятий, особенно относившихся к военно-промышленному комплексу и прочим отраслям экономики, которые не смогли сохранить конкурентоспособность в новых рыночных условиях.

Помимо сокращения антропогенных выбросов парниковых газов важное значение приобретают меры по наращиванию поглощающей способности парниковых газов наземными экосистемами (прежде всего, лесами).

* Ответственный автор: Антон Игоревич Пыжжев
e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

© 2021 Коллектив авторов

Такие меры фактически являются единственным способом балансирования глобального «углеродного» уравнения. Соответственно, быстрое наращивание поглощения углерода лесами может существенно изменить текущую и перспективную ситуацию с глобальным потеплением без существенных ограничений экономического роста. Данный подход будет реализовываться в рамках различных лесоклиматических проектов – системных мероприятий, направленных на увеличение поглощения углерода лесными экосистемами относительно естественного уровня.

В настоящей статье предлагается проанализировать потенциал использования углерод-поглощающей способности российских лесов на примере регионов Поволжья и Сибири. Обработка данных и построение карт выполнено с помощью открытого, свободно-распространяемого статистического пакета программ *R* (*R Core team, 2021*) с модулями *tmap* (Tennekes, 2018), *forecast* (Hyndman, Khandakar, 2008).

Роль лесов в национальном балансе выбросов и поглощения парниковых газов. На первый взгляд, создается впечатление, что Россия, обладающая пятой частью мировых лесов по площади, имеет все шансы практически компенсировать любые промышленные выбросы парниковых газов за счет огромной углерод-поглощающей способности своих лесов. В действительности это утверждение лишь отчасти соответствует действительности.

Ранее нами обсуждалась ситуация с различиями в методиках учета углерод-поглощающей способности лесов с России (Пыжев, Ваганов, 2019). В соответствии с национальными обязательствами по предоставлению ежегодной отчетности в Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК), наша страна ежегодно рассчитывает оценки поглощения углерода всеми лесными экосистемами (точнее сектор ЗИЗЛХ – Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство) на основе методики Региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) по данным Государственного лесного реестра (ГЛР). Данная методика многократно обсуждалась и уточнялась и признается экспертами МГЭИК как соответствующая требованиям данной организации. Несмотря на альтернативные оценки, полученные различными исследовательскими коллективами, которые превышают официальные в 2–3 раза (Швиденко, Щепаченко, 2014; Filipchuk et al., 2018), именно оценки, полученные с помощью РОБУЛ, будут использоваться и впредь для учета углерод-поглощающей способности российских лесов, в том числе в целях практического внедрения экономических механизмов углеродного регулирования (Романовская и др., 2020).

Недавняя работа, выполненная с участием всех перечисленных выше коллективов, показывает, что действительная поглощающая способность российских лесов примерно на 47% больше заявленной в официальной национальной отчетности перед МГЭИК (Schepaschenko et al., 2021).

Любопытно проследить динамику антропогенных выбросов парниковых газов на фоне поглощения углерода лесными экосистемами на всем доступном горизонте наблюдений, начиная с 1990 г. (рис. 1).

Наглядна отмеченная ранее выраженная тенденция к быстрому сокращению выбросов парниковых газов: с

3,1 млн т в 1990 г. до 1,9 млн т в 2000 г., то есть почти на 40%. Затем, по мере восстановительного роста российской экономики в условиях технологической модернизации, показатель постепенно возрастал, приблизившись к настоящему моменту к 2,1 млн т.

Иная динамика наблюдается для поглощения углерода сектором ЗИЗЛХ: в 1990 г. оно оценивалось всего в 70 тыс. т, но уже к 2000 г. приблизилось к 500 тыс. т. В дальнейшем уровень показателя находился в диапазоне 530–710 тыс. т ежегодно. Очень низкие показатели в начале периода наблюдения в целом коррелируют с результатами известных альтернативных оценок, в которых констатировалась высокая межгодовая изменчивость стока углерода в диапазоне 180–750 тыс. т в год (Нильссон и др., 2003).

В целом на настоящий момент сектор ЗИЗЛХ обеспечивает около 25% условной компенсации антропогенной эмиссии парниковых газов в России, играя, таким образом, действительно значимую роль в национальном углеродном балансе. Однако, говорить о полной условной компенсации антропогенных выбросов парниковых газов за счет поглощения углерода лесными экосистемами в настоящий момент не приходится. Кроме того, даже если бы российские леса могли предоставить такую возможность, это бы не отразилось на экономическом обременении предприятий новыми климатическим платежами. Экономические механизмы, разрабатываемые в рамках Парижского соглашения, не подразумевают возможности зачета естественного поглощения углерода в качестве компенсации антропогенных выбросов (Макаров и др., 2018). В таких целях можно применять только целенаправленные антропогенные изменения в потоках парниковых газов: например, появление лесов в тех местах, где их прежде не было; создание технических резервуаров накопления углерода и пр.

Перспективы увеличения углерод-поглощающей способности лесов: региональный аспект. Резко возросший интерес к вопросам увеличения поглощающей способности российских лесов привел к существенному росту количества научных публикаций по данной тематике. Традиционно мало работ, в которых бы рассматривался региональный разрез, а тем более – уровень отраслей или предприятий. В то же время по мере практического

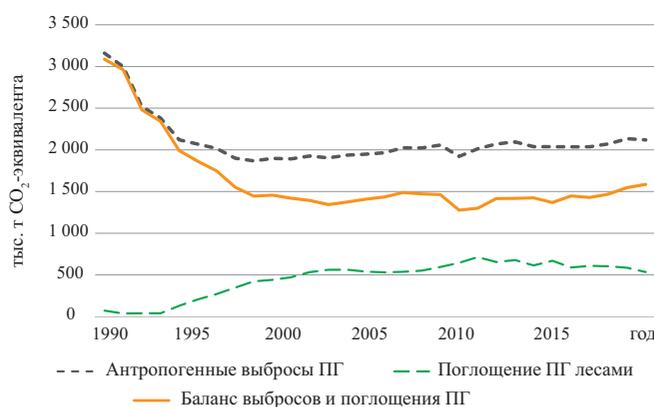


Рис. 1. Динамика антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ), поглощения ПГ лесами, баланса выбросов и поглощения ПГ в России в 1990–2019 гг. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

внедрения любых механизмов углеродного регулирования важнейшее значение приобретут именно такие исследования, поскольку любые предлагаемые сегодня способы взимания «углеродных» платежей в конце концов будут касаться именно конкретных производителей, которые столкнутся с увеличением издержек на экспорт своей продукции.

Так, например, в литературе практические не анализируются данные региональных учетов потоков парниковых газов в рамках сектора ЗИЗЛХ, которые ежегодно публикуются в рамках Национальных кадастров антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. Представленные данные являются ценным источником информации о пространственной динамике бюджетов углерода лесных экосистем, несмотря на описанные выше систематические занижения поглощающей способности лесов.

В целях настоящего исследования проведем базовый анализ пространственной динамики бюджетов углерода лесов некоторых крупных территорий страны. Для контраста будем рассматривать два крупных российских макрорегиона, выделенных по эколого-географическим признакам. В качестве первого макрорегиона предлагается избрать пять субъектов федерации, располагающихся в Поволжье: Самарскую и Ульяновскую области, Республики Татарстан, Чувашия и Марий Эл. Данные регионы географически связаны бассейном р. Волги, расположены в преимущественно степной, малолесной зоне Европейской части страны (рис. 2).

Например, территория Республики Татарстан относится к малолесным районам: общая площадь лесного фонда региона составляет порядка 1,3 млн га, а лесистость

территории не превышает 18%. С учетом истории хозяйственного освоения лесных и сельскохозяйственных территорий Республики, приведших к массовой эрозии почв и высоких темпов обезлесения в Советский период развития страны, представляется, что регион имеет определенный потенциал для наращивания лесистости, что позволит увеличить возможности поглощения углерода лесами. В настоящий момент, даже по официальным данным Кадастра парниковых газов России, оценки которых, скорее всего, довольно существенно занижены, леса Татарстана ежегодно поглощают до 4,8 млн т CO_2 -эквивалента. В то же время, например Группа «Татнефть» ежегодно выбрасывает около 3,8 млн т CO_2 -эквивалента, то есть практически сопоставимый объем (Устойчивое энергетическое будущее..., 2020).

Динамика углеродного бюджета лесов регионов Поволжья оказывается закономерно стабильной (рис. 3). Практически во всех случаях она повторяет общестрановое отсутствие вариации данного показателя, обусловленное, прежде всего, низким качеством и частотой учета лесного фонда, отражаемого в Государственном лесном реестре. Кроме того, малолесные районы ожидаемо мало встречаются с основными видами естественных и антропогенных лесных нарушений (пожары, вспышки насекомых-вредителей, ветровалы). Уровни самих бюджетов сопоставимы между собой со средней абсорбцией углерода около 906 млн т углерода в год.

Напротив, территории второго макрорегиона представлены густо заросшими сибирскими бореальными лесами Красноярский край, Иркутская и Томская области. Такой подход к выделению регионов позволяет обеспечить достаточную контрастность для интерпретации результатов сравнительного анализа (рис. 4).

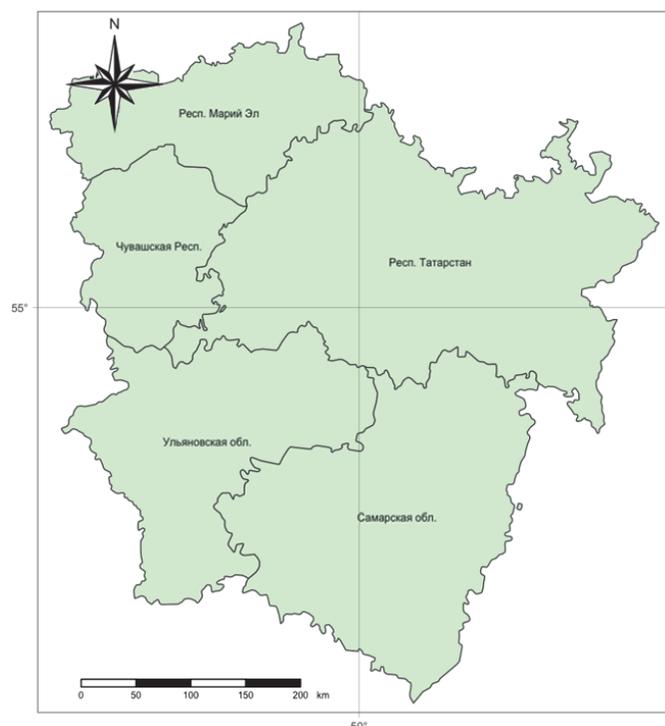
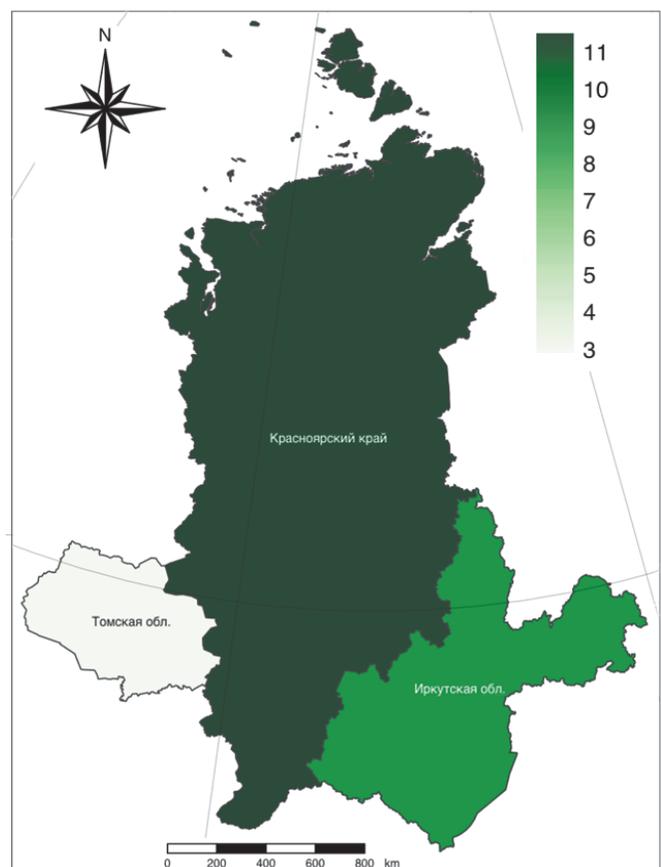


Рис. 2. Пространственные распределения запасов древесины рассматриваемых регионов Поволжья (слева) и Сибири (справа) по состоянию на 2018 г., млрд куб. м. Источник: данные Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) по запасам древесины в регионах Российской Федерации



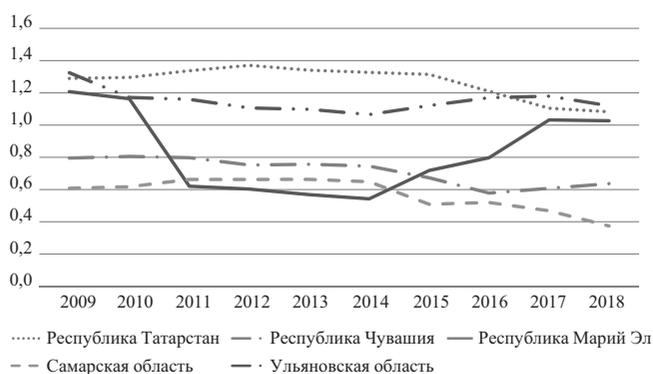


Рис. 3. Динамика бюджета углерода лесов рассматриваемых регионов Поволжья в 2009–2018 гг., млн т углерода в год. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

В контексте данного обсуждения важнейшее значение имеют крупнейшие лесные регионы России: Красноярский край и Иркутская область.

Иркутская область, один из наиболее богатых лесами регионов страны (площадь лесов – 71,5 млн га, общий запас древесины – 8,8 млрд куб. м, то есть 10,7% общероссийских запасов), и крупнейший лесозаготовитель (31,7 млн куб. м в 2019 г., то есть 13% общероссийской лесозаготовки). Красноярский край является абсолютным лидером страны по площади лесов (168 млн га), уступая Иркутской области по объемам лесозаготовки (25,6 млн куб. м). Успехи в экстенсивном освоении лесных ресурсов в Ангаро-Енисейском макрорайоне оборачиваются парадоксальной ситуацией, когда лидер лесной отрасли страны, которая владеет 1/5 мировых лесов, в текущей ситуации не может обеспечить высокие показатели поглощения углерода.

По официальным данным Национального кадастра парниковых газов России, леса Иркутской области поглощали 13,4 млн т CO_2 -эквивалента в среднегодовом выражении в 2009–2018 гг., что составляет всего 2,3% от общероссийского показателя, та же цифра для Красноярского края – всего 11,5 млн т CO_2 -эквивалента. Такие цифры объясняются высокими объемами рубок и интенсивными лесными нарушениями: лесных пожаров и вспышек насекомых-вредителей, в том числе новых агрессивных видов (Баранчиков и др., 2011; Ivantsova et al., 2020). В отдельные годы бюджет углерода практически занулялся из-за сильных лесных пожаров: такая ситуация наблюдалась в Иркутской области в 2010 г. (3,2 млн т) и 2018 г. (2,6 млн т). Таким образом, наблюдается существенная диспропорция между количественными и качественными характеристиками лесных ресурсов и поглощающей способностью, которая объясняется неэффективным режимом лесохозяйствования на территории и высокой интенсивностью лесных нарушений.

С учетом того, что выстраивание результативной системы борьбы с лесными пожарами и насекомыми-вредителями требует очень объемных и дорогостоящих мероприятий, эффективность которых оценить затруднительно, приведенные выше иллюстрации сложившегося положения приводят к мысли о том, что помимо использования потенциала наращивания поглощения углерода

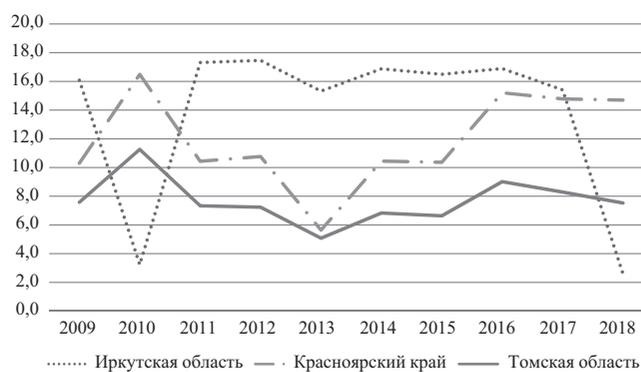


Рис. 4. Динамика бюджета углерода лесов рассматриваемых регионов Сибири в 2009–2018 гг., млн т углерода в год. Источник: Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом. <http://downloads.igce.ru/kadastr/rus-2021-nir-15apr21.zip>

в традиционных лесных регионах внимание следует обратить и на малолесные районы.

Закключение. Участие России в глобальных климатических инициативах требует не только снижения антропогенной эмиссии, но и максимального использования потенциала лесов как естественных поглотителей углекислого газа. Приведенные в статье примеры убедительно показывают, что леса и обладают выраженным потенциалом частичной компенсации промышленной эмиссии парниковых газов в рамках практики климатического регулирования при условии реализации соответствующих лесоклиматических проектов. Помимо работ по уточнению оценок бюджета углерода, которые можно проводить в рамках создания карбоновых полигонов (мониторинговой сети станций и наземных стационаров наблюдения за потоками и запасами углерода) на территории области, внимание следует обратить на интенсивное наращивание объемов и качества работ по лесовосстановлению и лесоразведению.

Необходимо понимать, что нельзя говорить о возможности прямой компенсации выбросов за счет естественного поглощения углерода лесами, поскольку для зачетов (англ. *offsets*) могут быть использованы только целенаправленные антропогенные изменения в потоках парниковых газов (например, появление лесов в тех местах, где их прежде не было).

Финансирование/Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-18-00145).

Коллектив выражает благодарность ак. В.А. Крюкову за обсуждения, которые послужили отправной точкой для замысла статьи.

Литература

Баранчиков Ю.Н., Петько В.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н., Кривец С.А. (2011). Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири. *Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник*, 4, с. 78–81.

Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. (2020). Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук. *Вестник Российской академии наук*, 90(10), с. 914–925. <https://doi.org/10.1134/S1019331620050123>

Колпаков А.Ю. (2021). Адекватный ответ на введение механизма трансграничного углеродного регулирования ЕС. *Сб. материалов XVI*

Межд. научно-практ. конф. Российского общества экологической экономики «Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование». Красноярск, с. 84–85.

Крюков В.А., Лавровский Б.Л., Селиверстов В.Е. и др. (2020). Сибирский вектор развития: в основе кооперация и взаимодействие. *Проблемы прогнозирования*, 5(182), с. 46–59. <https://doi.org/10.1134/S1075700720050111>

Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В. (2018). Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России. *Вопросы экономики*, 4, с. 76–94.

Нильссон С., Ваганов Е.А., Швиденко А.З. и др. (2003). Углеродный бюджет растительных экосистем России. *Доклады академии наук*, 393(4), с. 541–543.

Порфирьев Б.Н., Широу А.А., Колпаков А.Ю. (2020). Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России. *Мировая экономика и международные отношения*, 64(9), с. 15–25.

Пыжев А.И., Ваганов Е.А. (2019). Роль российских лесов в реализации Парижского климатического соглашения: возможности или риски? *ЭКО*, 11, с. 27–44.

Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т. (2018). Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении. *Лесоведение*, 5, с. 323–334.

Устойчивое энергетическое будущее. Годовой отчет Компании «Татнефть» (2020). <https://2020.tatneft.ru>

Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Югов А.Н. (2020). Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата. *Лесохозяйственная информация*, 1, с. 92–114.

Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. (2014). Углеродный бюджет лесов России. *Сибирский лесной журнал*, 1, с. 69–92.

Широу А.А., Белоусов Д.Р., Блохин А.А. и др. (2020). Потскризисное восстановление экономики и основные направления прогноза социально-экономического развития России на период до 2035 г. Москва: Наука, 152 с.

Filipchuk A., Moiseev B., Malysheva N., Strakhov V. (2018). Russian forests: A new approach to the assessment of carbon stocks and sequestration capacity. *Environmental Development*, 26, pp. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>

Hyndman R. J., Khandakar Y. (2008). Automatic time series forecasting: The forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26, pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>

Ivantsova E.D., Pyzhev A.I., Zander E.V. (2019). Economic Consequences of Insect pests outbreaks in boreal forests: a literature review. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 12(4), pp. 627–642. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0417>

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Rogelj J. et al. (2021). Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix. *Nature*, 591(7850), pp. 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>

Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 11, 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>

Tennekes M. (2018). Tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84, pp. 1–39. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>

Сведения об авторах

Антон Игоревич Пыжев – кандидат экон. наук, доцент кафедры социально-экономического планирования, заведующий научно-учебной лабораторией экономики природных ресурсов и окружающей среды, Сибирский федеральный университет; старший научный сотрудник отдела прогнозирования экономического развития Красноярского края, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН

Россия, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79

e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Евгений Александрович Ваганов – академик РАН, доктор биол. наук, научный руководитель, Сибирский федеральный университет

Россия, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, д. 79

Статья поступила в редакцию 28.07.2021;

Принята к публикации 03.08.2021;

Опубликована 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Carbon absorption by forests in the Volga region and Siberia: state and prospects

A.I. Pyzhev^{1,2}, E.A. Vaganov¹*

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

*Corresponding author: Anton I. Pyzhev, e-mail: apyzhev@sfu-kras.ru

Abstract. The prospect of Russia's economic development will be inextricably bound up with the country's success in the implementation of global climate initiatives. The strategy for the development of the national economy with a low level of greenhouse gas emissions, which is currently being formed, implies the fullest use of the potential for carbon sequestration by forest ecosystems, including through the implementation of various forest-climatic projects.

The article shows that despite the world's largest forest areas, the carbon-absorbing capacity of Russian forests cannot balance anthropogenic greenhouse gas emissions. Using the examples of several regions of the Volga region and Siberia, the spatial dynamics of the forest carbon budget in the 2010s is considered. For the regions of Siberia rich in boreal forests, there is a significant disproportion between the quantitative and qualitative characteristics of forest resources and the absorbing capacity, which is explained by the ineffective forestry regime in the territory and the high intensity of forest disturbances.

Taking into account the fact that building an effective system for combating forest fires and insect pests requires very voluminous and expensive measures, the effectiveness of which is difficult to assess, the above illustrations of the current situation lead to the idea that, in addition to using the potential for increasing carbon sequestration in traditional forest regions in the implementation of forest-climatic projects should pay attention to sparsely forested areas.

Keywords: economics of climate change, forest ecosystems, carbon-absorbing capacity of forests, carbon budget, greenhouse gases, Russia, global climate initiatives, forest-climate projects

Acknowledgements

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Project No. 19-18-00145).

The team is grateful to ac. V.A. Kryukov.

Recommended citation: Pyzhev A.I., Vaganov E.A. (2021). Carbon absorption by forests in the Volga region and Siberia: state and prospects. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 36–41. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.6>

References

- Baranchikov Yu.N., Petko V.M., Astapenko S.A., Akulov E.N., Krivets S.A. (2011). The Ussuri polygraph is a new aggressive pest of fir in Siberia. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – lesnoi vestnik*, 4, pp. 78–81. (In Russ.)
- Box G., Jenkins G. (1970). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day, 553 p.
- Danilov-Daniliyan V.I., Kattsov V.M., Porfiriev B.N. (2020). The problem of climate change is a field of convergence and interaction of natural and socio-humanitarian sciences. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk [Herald of the Russian Academy Of Sciences]*, 90(10), pp. 914–925. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1019331620050123>
- Filipchuk A., Moiseev B., Malysheva N., Strakhov V. (2018). Russian forests: A new approach to the assessment of carbon stocks and sequestration capacity. *Environmental Development*, 26, pp. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>
- Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Yugov A.N. (2020). Boreal Forests of Russia: Opportunities for Climate Change Mitigation. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya [Forestry information]*, 1, pp. 92–114. (In Russ.)
- Hyndman R. J., Khandakar Y. (2008). Automatic time series forecasting: The forecast package for R. *Journal of Statistical Software*, 26, pp. 1–22. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>
- Ivantsova E.D., Pyzhev A.I., Zander E.V. (2019). Economic Consequences of Insect pests outbreaks in boreal forests: a literature review. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 12(4), pp. 627–642. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0417>
- Kolpakov A.Yu. (2021). Adequate response to the introduction of the EU carbon border adjustment mechanism. *Proc. XVI Int. Sci. and Pract. Conf. of the Russian Society of Ecological Economics "Resource Economy, Climate Change and Environmental Management"*. Krasnoyarsk, pp. 84–85. (In Russ.)
- Kryukov V.A., Lavrovskii B.L., Seliverstov V.E. et al. (2020). Siberian Development Vector: Based on Cooperation and Interaction. *Stud Russ Econ Dev.*, 5(182), pp. 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1075700720050111>
- Makarov I.A., Chen Kh., Paltsev S.V. (2018). Impacts of Paris Agreement on Russian economy. *Voprosy Ekonomiki*, 4, pp. 76–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-76-94>
- Nilsson S., Vaganov E.A., Shvidenko A.Z. et al. (2003). Carbon budget of plant ecosystems in Russia. *Doklady akademii nauk*, 393(4), pp. 541–543. (In Russ.)
- Porfir'ev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. (2020). Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy. *World Economy and International Relations*, 64(9), pp. 15–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25>
- Pyzhev A.I., Vaganov E.A. (2019). Global Climate Change Economics: The Role of Russian Forests. *EKO [ECO]*, 11, pp. 27–44. (In Russ.)
- R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rogelj J. et al. (2021). Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix. *Nature*, 591(7850), pp. 365–368. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00662-3>
- Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Korotkov V.N., Karaban' R.T. (2018). The problem of accounting for carbon sequestration ability of Russian forests in Paris climatic agreement. *Lesovedenie*, 5, pp. 323–334. (In Russ.)
- Schepaschenko D., Moltchanova E., Fedorov S. et al. (2021). Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. *Scientific Reports*, 11, 12825. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92152-9>
- Shirov A.A., Belousov D.R., Blokhin A.A. et al. (2020). Post-crisis economic recovery and the main directions of forecasting the socio-economic development of Russia for the period up to 2035. Moscow: Nauka, 152 p. (In Russ.)
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G. (2014). Carbon budget of Russian forests. *Sibirskii lesnoi zhurnal [Siberian Forest Journal]*, 1, pp. 69–92. (In Russ.)
- Tennekes M. (2018). Tmap: Thematic Maps in R. *Journal of Statistical Software*, 84, pp. 1–39. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i06>

About the Authors

Anton I. Pyzhev – PhD (Economics), Associate Professor, Department of Social and Economic Planning, Head of the Laboratory for Environmental and Resource Economics, Siberian Federal University; Senior Researcher, Krasnoyarsk Department of Forecasting the Economic Development of the Region, Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
79, Svobodny Ave, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
email: apyzhev@sfu-kras.ru

Eugene A. Vaganov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dsc (Biology), Academic Director, Siberian Federal University
79, Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

*Manuscript received 28 July 2021;
Accepted 3 August 2021; Published 30 August 2021*

От ковидного «сегодня» к низко-углеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики

А.М. Мастепанов^{1,2}

¹Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

²Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, Москва, Россия
e-mail: amastepanov@mail.ru

Статья посвящена анализу прогнозов развития мировой энергетики, выполненных в последнее время (с сентября 2020 г. по май 2021 г.) ведущими мировыми аналитическими центрами с учётом «новой реальности» – коронавирусной пандемии. Рассмотрены воздействие пандемии Covid-19 на развитие мировой экономики и энергопотребление и оценки её последствий на долгосрочный глобальный экономический рост, сделанные в различных прогнозах и прогностических исследованиях. Показано, что приоритетом большинства прогностических оценок мирового потребления первичных энергоресурсов ведущих мировых аналитических центров, выполненных в последние годы, является резкое сокращение энергетикой эмиссии CO₂ и стабилизации глобальных антропогенных выбросов парниковых газов в целях предотвращения негативных изменений климата планеты. Дана условная классификация сценариев перспективного развития глобальной энергетики в зависимости от той идеологии, которая в них заложена; представлен анализ выполненных прогнозов. Сделан вывод, что российским исследовательским структурам необходимо разрабатывать свои подобные прогнозы.

Ключевые слова: коронавирусная пандемия, энергетический переход, прогнозы и сценарии, энергетическая бедность, энергопотребление, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность

Для цитирования: Мастепанов А.М. (2021). От ковидного «сегодня» к низко-углеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики *Георесурсы*, 23(3), с. 42–52. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>

Введение

Период с сентября 2020 г. по май 2021 г. ознаменовался очередной порцией прогнозов и прогностических исследований развития глобальной энергетики от ведущих мировых (международных и национальных) аналитических центров, большинство из которых в той или иной степени отразило «новую реальность» – коронавирусную пандемию. Эта пандемия, сопровождаемая экономическим спадом и обвалом цен на энергоносители, получила неофициальное, но весьма ёмкое и точное название – коронакризис или пандемический кризис, и ускорила те глобальные перемены, которые годами и десятилетиями накапливались в обществе. Пандемия послужила катализатором глобальных трансформаций, в том числе и энергетического перехода. Соответственно, основное внимание во многих из этих прогнозов и прогностических сценариев уделяется вопросу о том, как пандемия Covid-19 может повлиять на глобальный спрос на энергию и связанные с этим выбросы парниковых газов, и о том, как это может повлиять на усилия по переходу к низкоуглеродной экономике в ближайшие десятилетия.

Исходя из своего понимания этих процессов – глубины, продолжительности и последствий коронавирусной пандемии, и усилий, мер и возможных результатов по достижению энергоперехода – представления о будущем мировой энергетики обновили компании BP и DNV GL, Equinor и Rystad Energy, BloombergNEF, McKinsey, Wood Mackenzie и др.

Своим новым видением энергетического будущего поделились Институт экономики энергетики Японии (Institute of Energy Economics, Japan – IEEJ), Секретариаты Форума стран – экспортёров газа – ФЭСЭГ (Gas Exporting Countries Forum, GECF) и ОПЕК, Международное энергетическое агентство (МЭА) и другие аналитические и прогностические центры.

В частности, МЭА наряду с уже ставшими традиционными выпусками World Energy Outlook и Energy Technology Perspectives в мае 2021 г. опубликовало «Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector» – своего рода Дорожную карту развития мирового энергетического сектора на период до 2050 г. – первое в мире всестороннее исследование такого рода, в котором показан рентабельный переход к чистой, нулевой по эмиссии CO₂, энергетической системе, гарантирующий стабильные и доступные энергоресурсы, обеспечивая универсальный энергетический доступ и включая прочный экономический рост (Net Zero by 2050..., 2021).

Естественно, что все эти исследования отличаются друг от друга и шириной охвата проблем, и глубиной прогнозного периода, не говоря уже о различиях в методологии проведения прогнозных оценок и в используемой базе данных, а также других тонкостях прогнозирования.

Но есть в них и общее: прогностические сценарии рассматриваемых исследований имеют целый ряд особенностей, отличающих их от ранее вышедших аналогичных работ. Во-первых, исходной базой этих сценариев стал, как правило, глубочайший со времён Великой депрессии экономический спад, вызванный коронавирусной

пандемией. Во-вторых, эти сценарии разработаны в период массового осознания и озабоченности общества проблемой глобального изменения климата, и понимания того, что причиной его является эмиссия парниковых газов антропогенного происхождения¹.

Отсюда вытекает как бы «возможность отказа человечества от углеводородных источников энергии (угля, нефти и газа), которая в последние годы всё чаще становится темой серьёзного обсуждения не только футурологов, но и специалистов в самых различных областях знаний – климатологов, атомщиков, энергетиков, экономистов...» (Мастепанов, 2016). Соответственно, ведущими странами и их союзами принимаются программы достижения к середине текущего столетия так называемого углеродно-нейтрального состояния.

Для большинства прогнозов и прогностических исследований развития глобальной энергетики характерен сценарный подход, охватывающий широкий конус возможных траекторий предстоящего развития, поскольку разрабатывающие их специалисты хорошо понимают, что подобные оценки и прогнозы сопряжены с крайней степенью неопределённости всех составных частей этого процесса. Неопределённости, влекущей за собой невозможность предсказать единственно рациональный путь достижения поставленных целей. Эта неопределённость касается и будущего спроса на энергоресурсы, и возможностей его покрытия, и роли новых технологий, и потенциальных мер, которые могут быть приняты обществом для устранения рисков, связанных с изменением климата, включая возможности инвестиций. Свой вклад в эту неопределённость вносят глобализация и геополитика, демографические процессы и резкий рост социального неравенства, социальные революции и войны (Мастепанов, 2019). Ситуация усугубляется складывающимся профицитом энергоресурсов (Мастепанов, 2017). «Никакой из этих возможных путей заранее не предопределён – возможны все варианты», отмечают в этой связи эксперты МЭА (World Energy Outlook, 2020).

Отметим также, что в значительной части опубликованных в открытой печати результатов таких прогностических исследований цифрового материала крайне мало – в подтверждение своих выводов и предположений авторы исследований приводят в основном рисунки. Рисунки наглядно «подтверждают» сделанные выводы, но проверить их практически невозможно. Объяснений подобной практике нет. Можно лишь предположить, что высокая неопределённость возможного развития событий и недостаточная база исходных материалов просто не позволяют авторам таких исследований поступить по-другому.

¹Так ли это на самом деле, или причины глобального потепления кроются в циклической последовательности развития климата на планете, пока до конца не ясно. Как мы уже отмечали, «до сих пор учёные со 100% уверенностью не могут сказать, какие причины вызывает современные климатические изменения. В качестве причин глобального потепления называются изменение солнечной активности и изменение угла оси вращения Земли и её орбиты, неизвестные взаимодействия между Солнцем и планетами Солнечной системы, океан, вулканическая активность, человеческая деятельность. Вполне вероятно, что имеющее место в настоящее время глобальное потепление является результатом действия многих факторов. Планета Земля настолько сложная система, что существует множество факторов, которые прямо или косвенно влияют на климат планеты, ускоряя или замедляя глобальное потепление» (Мастепанов, 2016).

Как же представляют себе энергетическое будущее авторы подобных прогнозов? Рассмотрим результаты основных из них.

Воздействие пандемии Covid-19 на мировую экономику и его оценка на долгосрочную перспективу

Коронавирусная пандемия Covid-19 2020–2021 гг. резко затормозила (и даже на много лет отбросила назад) развития большинства основных составных частей глобальной экономики – промышленности и строительства, транспорта и жилищно-коммунального хозяйства, остановила поток новых инвестиций, поскольку пандемия коронавируса – это не только здоровье и жизнь населения планеты. Как мы уже отмечали, пандемия «оказала самое непосредственное влияние на состояние глобальных энергетических рынков, энергетическую устойчивость и безопасность, и даже на отношение к проблеме глобального изменения климата» (Мастепанов, 2020а).

Пандемия COVID-19 уже погубила (по состоянию на 20 июля 2021 г.) более четырёх миллионов человек – 4 096 141 чел.². По оценкам ООН, она привела к сокращению в 2020 г. мировой экономики (объёма глобального ВВП) на 4,3%. Это более чем в два с половиной раза превышает спад, который наблюдался в результате мирового финансового кризиса 2009 года³. С этими оценками совпадает и мнение экспертов секретариата ОПЕК: «Вспышка пандемии COVID-19 привела к самому резкому спаду спроса на энергию и нефть в памяти живых людей. ... Привела к самому серьёзному экономическому спаду со времен Великой депрессии 1930-х годов» (World Oil Outlook 2045, 2020).

Естественно, что социально-экономические последствия пандемии COVID-19 будут ощущаться ещё долгие годы. Как заявил главный экономист ООН и помощник Генерального секретаря по вопросам экономического развития Эллиотт Харрис: «Глубина и тяжесть нынешнего беспрецедентного кризиса предвещают медленное и болезненное восстановление»⁴. Ещё более пессимистические оценки в январе 2021 г. дал World Bank: «Хотя идёт процесс восстановления объёма мирового производства после резкого падения, спровоцированного пандемией COVID-19, траектория роста ещё долгое время будет ниже, чем до пандемии. Пандемия усугубила риски, связанные с десятилетней волной роста объёмов задолженности по всему миру. Кроме того, она, по всей вероятности, усугубит давно прогнозируемое замедление темпов потенциального роста экономики в течение следующего десятилетия». К числу рисков негативного развития ситуации эксперты Мирового банка относят возможность новых волн распространения вируса, задержки с вакцинацией, более серьёзное воздействие пандемии на потенциальный рост, а также сложившуюся напряжённость в финансовой сфере (Global Economic Prospects..., 2021).

²Коронавирус COVID-19. Статистика. 20 апреля 2021 г. <https://news.mail.ru/coronavirus/stat/msk/>

³В ООН заявили о сокращении мировой экономики в 2020 году на 4,3%. 25 января 2021. ТАСС. <https://tass.ru/ekonomika/10542613>

⁴Восстановление мировой экономики остается неустойчивым – ООН. ТВ БРИКС. 26 января 2021. https://finance.rambler.ru/markets/45680251/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copypink

Как отмечается в последнем издании Европейской комиссии «Global Energy and Climate Outlook (GECO 2020)», хотя прогнозы развития ситуации с Covid-19 и длительность пандемии в исследованиях основных международных институтов различаются, эксперты сходятся в двух вещах: Covid-19 останется, и будущее неизвестно: продолжительность и серьёзность пандемии относятся к числу основных факторов неопределённости будущего развития (Keramidas, 2021). И добавляют: «Кризис Covid-19, по прогнозам, будет иметь длительные последствия... хотя на сегодняшний день трудно спрогнозировать продолжительность пандемии» (Keramidas, 2021).

Более того, эксперты Секретариата ФСЭГ, как и многие другие специалисты⁵ (Global Economic Prospects..., 2021; Keramidas, 2021; Баунов, 2020), в том числе и автор этой статьи (Мастепанов, 2020b), исходят из того, что той экономики, того образа жизни, которые были до начала пандемии COVID-19, уже не будет, и эти перемены самым непосредственным образом скажутся и на развитии нефтегазовой отрасли. И эти различия будут настолько велики, что эксперты ФСЭГ предстоящий период назвали «эпохой после COVID-19» (The post COVID-19 era) (GECF Global Gas Outlook 2050, 2021).

Наиболее развёрнутые, на настоящий момент, оценки последствий пандемии на долгосрочное глобальное экономическое развитие даны в исследовании компании (международного сертификационного и классификационного общества) DNV GL⁶ «Energy Transition Outlook 2020. A Global and Regional Forecast to 2050», опубликованном в сентябре 2020 г. (Energy Transition Outlook..., 2020), в котором сделано сравнение сценария без COVID-19 с сценарием, учитывающим пандемию. Безусловно, модельные расчёты, положенные в эти оценки, базируются на данных середины 2020 г., и не отражают ни вторую и третью волны пандемии, ни связанные с ними локдауны и меры правительств многих стран, принятые для поддержки своих экономик. Поэтому приводимые ниже оценки DNV являются, скорее всего, заниженными, но даже они показывают всю глубину глобального кризиса, охватившую мировую экономику.

Глобальный ВВП в результате «провала» из-за пандемии COVID-19 в 2020 г., в 2025–2050 гг. будет, по оценкам экспертов DNV, на 9,4% ниже, чем был бы в её отсутствие (Energy Transition Outlook..., 2020). При этом наибольший спад на уровне 2050 г. ожидается для таких регионов, как Европа (-11,8%), Северная Америка (-10,7%) и Ближний Восток и Северная Африка (-10,2%).

Различные пути выхода из кризиса Covid-19, с особым акцентом на ключевые в этом плане следующие десять лет

⁵COVID-19. https://www.iea.org/topics/covid-19?utm_campaign=IEA%20newsletters&utm_source=SendGrid&utm_medium=Email

⁶Руководство DNV GL, в соответствии с решением принятым после пересмотра своей стратегии, постановило с 1 марта 2021 года сократить прежнее название компании до DNV

(до 2030 г.), рассматриваются и в последнем «Прогнозе мировой энергетики» МЭА – World Energy Outlook 2020 (WEO-2020), вышедшем осенью 2020 г. (World Energy Outlook 2020, 2020).

Неопределённость относительно продолжительности пандемии, её экономических и социальных последствий и ответных политических мер, открывает широкий диапазон возможных вариантов или сценариев будущего развития энергетики. Чтобы оценить экономические последствия пандемии и рассмотреть различные результаты, в зависимости от того, удастся ли установить контроль над ней в 2021 г., или она превратится в более длительный кризис и более глубокий экономический спад, в этом исследовании рассмотрен специальный Сценарий позднего восстановления (Delayed Recovery Scenario – DRS) (World Energy Outlook 2020, 2020).

Согласно оценкам МЭА, глобальный ВВП в 2030 г. по сравнению с докризисным периодом будет ниже почти на 14%, а в развивающихся странах – даже на 16% (рис. 1).

Похожие оценки влияния пандемии COVID-19 на динамику глобального ВВП делаются и в ряде других прогностических исследований. Так, специалисты Европейской Комиссии считают, что он будет ниже базового уровня на 6,3% в 2030 г. (Keramidas, 2021). По прогнозам Секретариата ФСЭГ, глобальный реальный ВВП в 2050 г. будет на 7% ниже, чем прогнозировалось до COVID-19, поскольку на среднесрочные и долгосрочные экономические перспективы резко влияют медицинские, гуманитарные и экономические кризисы, вызванные пандемией (GECF Global Gas Outlook 2050 Synopsis, 2021).

Соответственно, и глобальное конечное потребление энергии только из-за последствий пандемии в перспективе прогнозируется существенно меньшим (табл. 1, рис. 1, 2).

Представление специалистов Секретариата ФСЭГ о динамике глобального предложения первичных энерго-ресурсов с учётом и без учёта влияния коронавирусной пандемии показано на рис. 3.

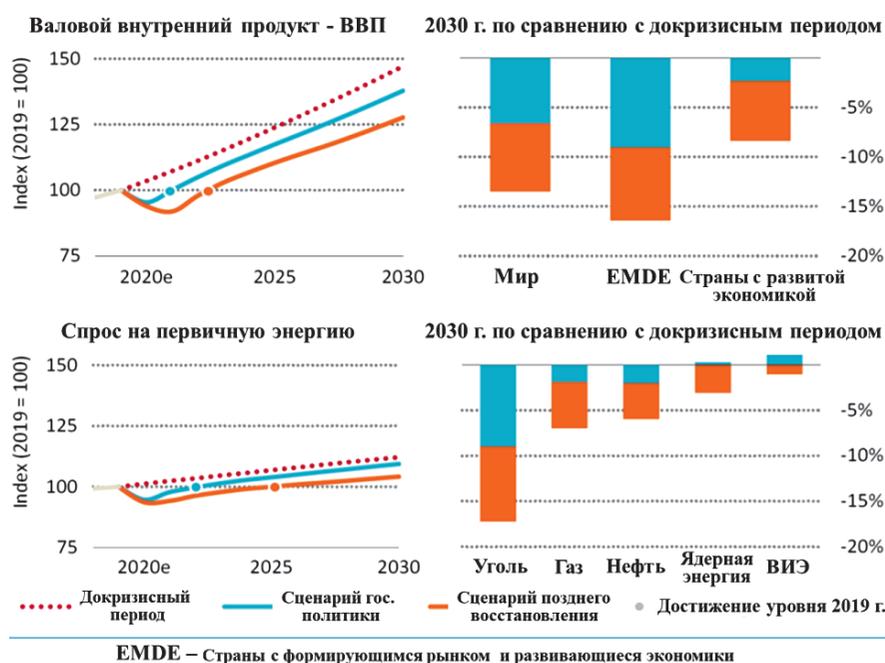


Рис. 1. Динамика ВВП и спроса на первичную энергию в мире в различных сценариях World Energy Outlook (WEO) – 2020. Источник: (World Energy Outlook 2020, 2020).

Сектор экономики	2020	2021	2022	2025	2030	2050
Строительство	-2,8	-3,2	-2,6	-4,0	-5,0	-5,8
Промышленность	-7,2	-8,2	-7,1	-8,7	-7,8	-7,9
Транспорт	-17,2	-11,6	-8,5	-9,0	-9,8	-9,7
Не энергетические нужды	-6,0	-9,4	-8,4	-11,3	-10,8	-10,4
Мировая экономика, всего	-8,3	-7,5	-6,0	-7,4	-7,5	-7,6

Табл. 1. DNV: глобальное совокупное воздействие коронавирусной пандемии на секторы конечного спроса на энергию, в процентах к ситуации без COVID-19. По материалам (Energy Transition Outlook..., 2020).

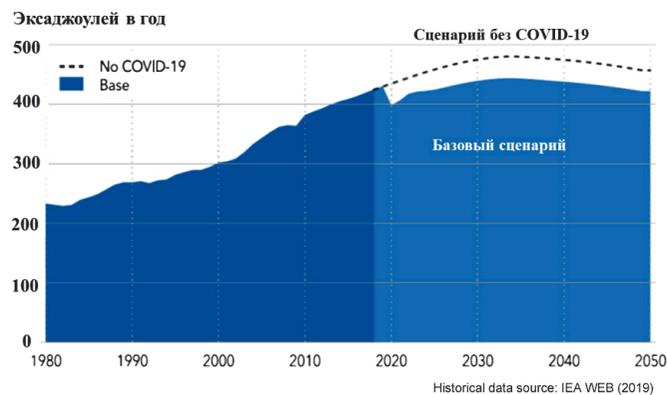


Рис. 2. DNV: мировое конечное потребление энергии в двух сценариях – без COVID-19 и с учётом глобальной пандемии (Базовый сценарий). Источник: (Energy Transition Outlook..., 2020).

Наибольшее влияние коронавирусная пандемия, по оценкам экспертов DNV, окажет на потребление и, соответственно, производство таких первичных энергоресурсов, как уголь, нефть и энергия ветра (табл. 2).

Согласно оценкам МЭА, мировой спрос на энергию в Сценарии государственной политики вернётся к докризисному уровню в начале 2023 г., но в Сценарии позднего восстановления из-за длительной пандемии и более глубокого экономического спада восстановление спроса может затянуться до 2025 г. (рис. 1). Соответственно, рост спроса на энергию за весь период с 2019 г. по 2030 г. прогнозируется на уровне 9% в Сценарии государственной политики и только на 4% в Сценарии позднего восстановления, причём весь рост будет происходить в странах с формирующимися рынками и в развивающихся странах. При этом в период до 2030 г. не будет восстановлен спрос ни на нефть и газ, ни, тем более, на уголь (рис. 1). Ожидаемая



Source: GECF Secretariat based on data from the GECF GGM 2020

Источники (виды) энергии	2020	2021	2022	2025	2030	2050
Биомасса	-1,8	-1,7	-1,0	-1,4	-1,1	-2,4
Гидроэнергия	-5,6	-1,8	0,3	-1,8	-3,5	-3,2
Солнечная фотовольтаика	-4,6	-3,1	-5,8	-11,2	-12,6	-8,8
Ветровая энергия	-4,6	-1,9	-3,3	-8,5	-14,4	-10,2
Атомная энергия	-4,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-2,4
Всего нетопливные ресурсы	-3,3	-1,4	-1,0	-2,4	-4,1	-6,2
Уголь	-6,1	-8,3	-7,5	-8,2	-6,3	-9,0
Нефть	-13,2	-9,9	-7,6	-8,5	-9,3	-9,6
Газ	-6,3	-9,5	-8,7	-10,1	-9,4	-9,3
Всего топливные ресурсы	-8,6	-9,2	-7,9	-9,0	-8,5	-9,4

Табл. 2. Глобальное воздействие коронавирусной пандемии на поставки первичной энергии по её основным источникам, в процентах к ситуации без COVID-19. По материалам (Energy Transition Outlook..., 2020).

динамика спроса на нефть показана также на рис. 4.

Специальный раздел, посвященный оценке влияния пандемии Covid-19 на экономическую активность и спрос на энергию, дан в последнем обзоре ВР «Energy Outlook 2020 edition», вышедшем в октябре прошлого года (ВР Energy Outlook..., 2020). В нём подчёркивается, что приводимые в обзоре оценки возможного воздействия пандемии весьма неопределенны. При этом допускается, что экономическая активность частично оправится от последствий пандемии в течение следующих нескольких лет по мере ослабления ограничений, хотя некоторые последствия сохранятся и дальше. Исходя из этого, предполагается, что уровень мирового ВВП будет примерно на 2,5% ниже в 2025 г. и на 3,5% в 2050 г. (рис. 5). Особенно велико отрицательное влияние пандемии на развивающиеся экономики, такие как Индия, Бразилия и Африка, экономические структуры которых в наибольшей степени подвержены экономическим последствиям Covid-19.

Соответственно снизится и энергопотребление – в основных сценариях ВР (Rapid, Net Zero и Business-as-usual – о них ещё будет сказано ниже) примерно на 2,5% в 2025 г.

И даже в 2050 г. снижение составит 3%. Особенно сильно снизится спрос на нефть: почти на 3 млн барр./сут. в 2025 г., и на 2 млн барр./сут. в 2050 г.

Но если последуют новые волны заражения, экономические потери от Covid-19 могут быть значительно больше. Это предположение учитывается в Альтернативном сценарии. В нём Covid-19 понижает уровень глобального ВВП в 2025 г. на 4%, и почти на 10% к 2050 г. Соответственно, и уровень спроса на энергию в Сценарии Rapid – основном сценарии ВР Energy Outlook 2020 – в 2050 г. будет ниже на 8%, а уровень спроса на нефть – примерно на 5 млн барр./сут. (рис. 5).

О масштабах влияния коронавирусной пандемии на динамику глобального спроса на основные первичные энергоресурсы в период до 2030 г. можно судить и по результатам исследования компании McKinsey «Global Energy Perspective 2021» (рис. 6).

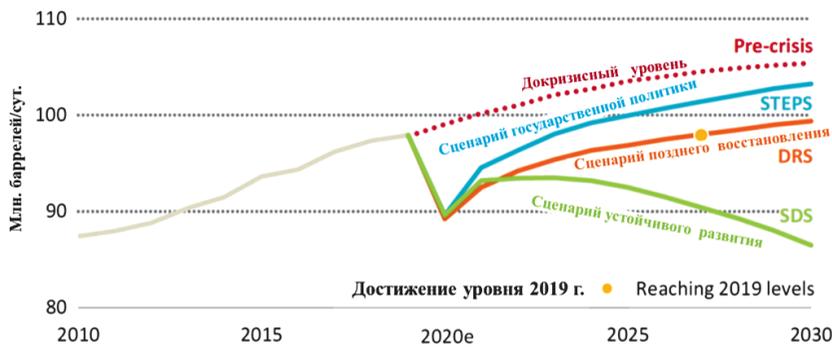


Рис. 4. Динамика глобального спроса на нефть в различных сценариях WEO-2020. Источник: (World Energy Outlook 2020, 2020).

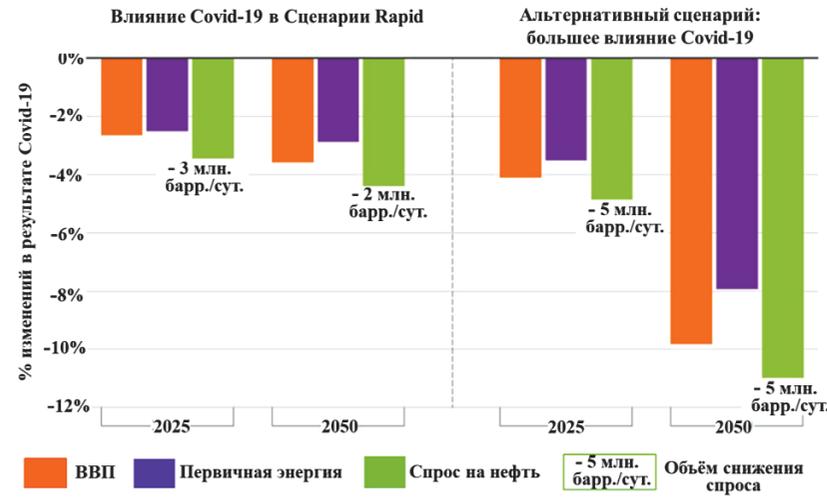


Рис. 5. Оценка влияния пандемии Covid-19 на экономическую активность и спрос на энергию. Источник: (BP Energy Outlook..., 2020).

Преставления о масштабах влияния коронавирусной пандемии на динамику глобального спроса на основные первичные энергоресурсы даёт и анализ эмиссии CO₂ мировой электроэнергетикой, оценки которой представлены в последнем прогнозе компании BloombergNEF «New Energy Outlook 2020», опубликованном 27 октября 2020 г. (New Energy Outlook 2020, 2020) (рис. 7).

Оценки влияния коронавирусной пандемии на развитие экономики и энергопотребления на ближайшие годы даёт и Секретариат ОПЕК. В его последнем, 14-м, издании World Oil Outlook (WOO), вышедшем в октябре прошлого года, отмечается, что среднегодовые темпы роста в развитых странах (Организация экономического сотрудничества и развития – ОЭСР) составят в период с 2019 по 2025 г. только 0,7%, тогда как до COVID-19 их прогнозируемый рост составлял 2,1% (World Oil Outlook 2045..., 2020).

Для стран, не входящих в ОЭСР, ожидается, что ВВП вырастет в среднем на 3,4% в год в течение того же периода, что более чем на 1 процентный пункт ниже по сравнению с прошлыми прогнозами.

Исходя из допущения, что пандемия COVID-19 в значительной степени будет преодолена к следующему году, спрос на нефть, по прогнозам Секретариата ОПЕК, частично восстановится, и достигнет уровня 94,4 млн барр./сут. в 2025 г.

В этом же исследовании детально рассмотрены два дополнительных сценария – Высоких и Низких темпов роста ВВП (Higher GDP Case и Lower GDP Case), в которых анализируется динамика спроса на нефть в среднесрочной перспективе в зависимости от темпов восстановления экономики после кризиса пандемии. Отмечается, что за пределами среднесрочной перспективы темпы роста глобального ВВП в обоих дополнительных сценариях будут в целом соответствовать темпам роста в Базовом сценарии (Reference Case). Однако из-за различной базы, достигнутой в 2025 г., разрыв в уровне экономической активности в 2045 г. составит почти 22 трлн долларов США (по паритету покупательной способности в ценах 2011 г. – по ППС 2011 г.) (World Oil Outlook 2045..., 2020).

Однако в большинстве рассмотренных нами прогностических исследований перспектив развития мировой энергетики оценки последствий пандемии на долгосрочное глобальное экономическое и энергетическое развитие даны в неявном виде. Как правило, в описании тех или иных сценариев просто отмечается, что эти сценарии уточнены (или сделаны) с учётом коронавирусного кризиса.

Оценки глобального энергопотребления в середине XXI века

Приоритетом большинства прогностических оценок мирового потребления первичных энергоресурсов ведущих мировых аналитических центров, выполненных в последние годы, является резкое сокращение энергетикой эмиссии CO₂ и стабилизации глобальных антропогенных выбросов парниковых газов, прежде всего – того же диоксида углерода, в целях предотвращения негативных изменений климата нашей планеты. Этот приоритет

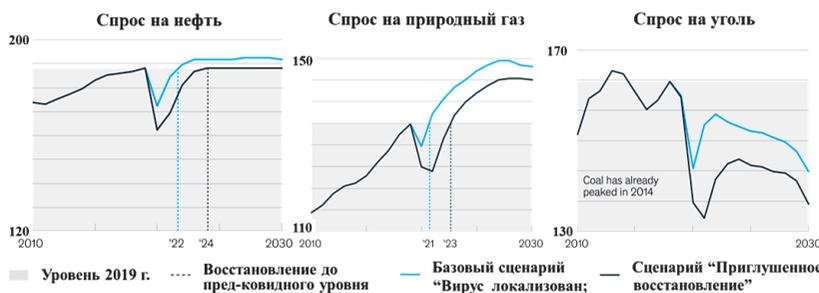


Рис. 6. Глобальный спрос на основные первичные энергоресурсы, млн тераджоулей (million TJ). Источник: (McKinsey Energy Insights..., 2020).

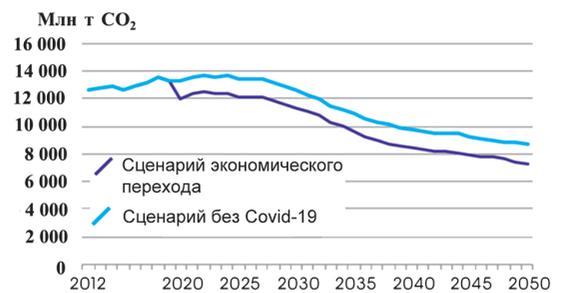


Рис. 7. Динамика эмиссии CO₂ в сценарии с учётом коронавирусной пандемии и в Сценарии без неё. Источник: (New Energy Outlook 2020..., 2020).

чаще всего достигается путём разработки специальных климат ориентированных сценариев, либо сценариев, направленных на обеспечение энергетического перехода, в основе которых лежит снижение или стабилизация роста энергопотребления при резком изменении его структуры в пользу возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Для возможности сравнения предлагаемых сценариев разрабатываются и так называемые базовые сценарии.

Рассмотренные нами сценарии перспективного развития глобальной энергетики в зависимости от той идеологии, которая в них заложена, можно условно разбить на несколько групп.

1-я группа – прогнозы и сценарии, исходящие из инерционного развития мировой экономики и энергетики, неизменности существующей энергетической политики и пролонгирующие сложившиеся тенденции. К ним можно отнести:

- **Сценарий Текущих политик (Current Policies Scenario – CPS)** прогнозов World Energy Outlook (WEO) МЭА, который в последнем WEO-2020 не рассматривается;

- Базовый сценарий Секретариата ОПЕК (World Oil Outlook – WOO) — **ОПЕК’s Reference** или **Reference Case** в WOO 2020;

- Базовый сценарий Секретариата ФЦЭГ (Global Gas Outlook) — **Reference case scenario (RCS)**;

- Базовый сценарий Института экономики энергетики Японии – ИЭЭЯ (Institute of Energy Economics, Japan – IEEJ) — **Reference Scenario**;

- **Сценарий Rivalry** компании Equinor;

- Сценарий **Planned Energy Scenario (PES)** прогноза World Energy Transitions Outlook Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) и др.

2-я группа – прогнозы и сценарии, ориентированные на значительный рост энергоэффективности, продолжающееся развитие технологий, учёт заявленных политических амбиций, в том числе, связанных с Парижским соглашением по климату (так называемые сценарии «эволюционирующей политики»). Это:

- **Сценарий новых политик (NPS Scenario)** МЭА, который последние годы в прогнозах WEO считался базовым, то есть наиболее вероятным. В 2019 г. его заменил **Сценарий государственной политики (Stated Policies Scenario – STEPS)**, дающий детальное представление о направлении развития энергетического сектора в соответствии с сегодняшними политическими амбициями;

- **Сценарий ускоренной политики и технологий (Accelerated Policy and Technology Case – APT Case)** Секретариата ОПЕК (WOO 2020);

- **Сценарий трансформации мира после коронавируса (Post Corona World Transformation Scenario – Post Corona Scenario – PCS)** IEEJ;

- **Сценарий Reform** компании Equinor;

- **Сценарий эволюционного перехода (Evolving transition scenario)** BP Energy Outlook 2019 и **сценарий Business as Usual (BAU)** BP Energy Outlook 2020;

- **Базовый сценарий** постулатов IRENA (Global energy transformation: A roadmap to 2050);

- **Economic Transition Scenario** BloombergNEF («New Energy Outlook 2020») и др.

3-я группа – прогнозы, сценарии и дорожные карты, направленные на обеспечение энергетического перехода. К ним относятся:

- **Сценарий устойчивого развития (Sustainable Development Scenario – SDS Scenario)** МЭА;

- Альтернативные сценарии Секретариата ОПЕК – **Scenario A, Scenario B** (World Oil Outlook 2020);

- **Сценарий смягчения последствий выбросов углерода (Carbon Mitigation Scenario – CMS)** Секретариата ФЦЭГ (GECF Global Gas Outlook 2050 Synopsis);

- **Сценарий передовых технологий (Advanced Technologies Scenario)** IEEJ;

- Сценарии **Renewal** и **Rebalance** компании Equinor;

- **Сценарий быстрого перехода (Rapid Transition Scenario – RT** или **Rapid)** BP – базовый в BP Energy Outlook 2020;

- **Transforming Energy Scenario** постулатов IRENA;

- **Климатический сценарий (NEO Climate Scenario – NCS)** компании BloombergNEF;

- **Сценарий «Новая нормальность» (New Normal scenario)** специалистов Европейской Комиссии (Global Energy and Climate Outlook 2020);

К отдельной группе следует отнести сценарии, в которых показано, как должна развиваться или какой должна быть энергетика, чтобы обеспечить достижение цели по ограничению глобального потепления до 1,5°C и 2,0°C к 2100 году по сравнению с доиндустриальным уровнем. К этим амбициозным климатическим сценариям в первую очередь (по срокам публикаций) относятся различные климатические сценарии Межправительственной группы экспертов по изменению климата – МГЭИК (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), опубликованные в октябре 2018 г. (Special Report on Global Warming of 1.5 °C), а также:

- **Круговая (или замкнутая) углеродная экономика/ сценарий 4R (Circular carbon economy/4R Scenario – CCE)** IEEJ;

- **Net Zero Scenario (Net Zero)** BP Energy Outlook 2020;

- **1.5°C Scenario** последнего прогноза IRENA (World Energy Transitions Outlook 2021);

- **Сценарии «2°C» и «1,5°C»** специалистов Европейской Комиссии (Global Energy and Climate Outlook 2020);

- **Сценарий 1.5°C Pathway** компании McKinsey Energy Insights (Global Energy Perspective 2021) и др.

Своеобразной вершиной подобных разработок стал уже упомянутый выше выпуск Международного энергетического агентства «Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector». Это исследование развивает и доводит до логического конца идеи, заложенные ранее в сценарии Net Zero Emission by 2050 (NZE2050) WEO-2020.

Ещё раз подчеркнём, что подобное деление прогнозов и сценариев на четыре группы весьма и весьма условно, поскольку идеология многих сценариев позволяет относить их к разным группам. Так, Сценарий государственной политики (STEPS) WEO-2020 МЭА по своим качественным параметрам следовало бы отнести к прогнозам и сценариям второй группы, что и сделано нами выше. Однако по своему месту в ряду остальных сценариев WEO-2020, он относится именно к базовым сценариям, тем более что **Сценарий Текущих политик (CPS)** в этом прогнозе вообще не рассматривается. Поэтому в табл. 3

он отнесён к первой группе. Но особенно сказанное относится к сценариям прогностических исследований IRENA, которые в каждом выпуске их результатов разные.

Следует также отметить, что в подавляющем большинстве случаев в рассмотренных в статье исследованиях детально проработан лишь один сценарий. Что касается остальных, тем более альтернативных сценариев, то

в них проанализированы с различной степенью детализации лишь отдельные составные части глобальной энергетики, причём, как правило, не на полный период прогнозирования (пример – сценарии Net Zero Emissions by 2050 и Delayed Recovery Scenario WEO-2020, о которых ещё будет сказано ниже). Это не позволяет проводить не только сравнение сценариев в различных прогнозах, но и

Организация, сделавшая прогноз	Название сценария	Название исследования	Прогнозный год	Потребление/спрос на первичные энергоресурсы, млн т н.э.					Выработка электроэнергии, ТВт·ч	Доля ВИЭ, %	Эмиссия CO ₂ , млрд т
				Всего	Доля ВИЭ, %	Нефть	Газ	Уголь			
1-я группа прогнозов											
МЭА	Stated Policies Scenario	WEO-2020	2040	17085	22	4832	4321	3314	40 094	47	33,3
ОПЕК	Reference Case	WOO-2020	2040/ 2045	17473/ 17920	20/ 21	4945/ 4935	4330/ 4523	3611/ 3521	.../ 47000	.../ 37	36,9/ 36,8
ФСЭГ	Reference Case scenario	Global Gas Outlook 2050 Synopsis	2040/ 2050	≈17000/ 18190	21/ 24	5455/ 4890	≈5250/ 5920	≈3200/ 2980	≈40 000 /48 050	31/ 35	>33,7/ 33,7
ИЭЭЯ	Reference Scenario	IEEJ Outlook 2021	2040/ 2050	17823/ 18556	16/ 17	5328/ 5608	4690/ 5132	4174/ 3884	40519/ 45201	32/ 35	39,5/ 40,0
Equinor	Rivalry	Energy Perspectives 2021	2040/ 2050	16613/ 16643	.../ 20*	5062/ 5050	3939/ 3948	3401/ 2826	38137/ 41252	... ...	.../ 31,8
2-я группа прогнозов											
ИЭЭЯ	Post Corona World Transformation Scenario	IEEJ Outlook 2021	2040/ 2050	17494/ 17724	16/ 18	5109/ 4929	4611/ 5019	4042/ 3614	40441/ 45151/	32/ 37	38,0/ 36,2
Equinor	Reform	Energy Perspectives 2021	2040/ 2050	15686/ 15273	.../ 26*	4249/ 3825	3919/ 3842	2785/ 2085	40475/ 45338	... ...	.../ 24,3
BP	Business as Usual	Energy Outlook 2020	2040/ 2050	16505/ 17317	17/ 22	.../ 4108	.../ 4467	.../ 2938	... ...	... ...	32,6/ 30,5
3-я группа прогнозов											
МЭА	Sustainable Development Scenario	WEO-2020	2040	13020	35	3006	2943	1295	38774	72	14,7
ИЭЭЯ	Advanced Technologies Scenario	IEEJ Outlook 2021	2040/ 2050	15925/ 15743	21/ 26	4617/ 4454	3918/ 3802	2939/ 2235	38288/ 41490	41/ 51	29,6/ 25,2
Equinor	Rebalance	Energy Perspectives 2021	2040/ 2050	13409/ 12247	.../ 41*	2795/ 2056	3430/ 2547	1529/ 679	44356/ 50329	... ...	.../ 8,9
BP	Rapid	Energy Outlook 2020	2040/ 2050	.../ 14929	33/ 44	.../ 2126	.../ 3201	.../ 573	... ...	... ...	16,6/ 9,3
4-я группа прогнозов											
МЭА	NZE2050	WEO-2020	2030	≈12000	...	...	...	...	...	60	20,1
ИЭЭЯ	Circular carbon economy/ 4R Scenario	IEEJ Outlook 2021	2040/ 2050	16030/ 16061	21 / 25	4350/ 3922	4397/ 4816	2800/ 1980	38297/ 41639/	45/ 58	27,4/ 20,0
BP	Net Zero Scenario	Energy Outlook 2020	2040/ 2050	14905/ 14929	48 /59	.../ 1003	.../ 1959	.../ 287	... ...	... ...	9,7/ 1,4

Табл. 3. Основные показатели некоторых прогностических исследований мировой энергетики. Пересчёт в млн т н.э. сделан исходя из следующих соотношений: IEJ = 23,886 Мтое; Imboe/d = 49,598 Мтое. * – только «новые» ВИЭ. Источник: рассчитано и составлено по данным (World Energy Outlook..., 2020; World Oil Outlook 2045..., 2021; GECF Global Gas Outlook 2050..., 2021; BP Energy Outlook..., 2020; IEEJ Outlook..., 2021; Energy Perspectives..., 2021).

иметь полную картину развития энергетики в самих этих сценариях. В полной мере это относится и к сценариям IRENA. С учётом этого и отмеченного выше, в табл. 3 сценарии IRENA, как и многих других прогностических центров, не рассматриваются.

Конечно, было бы интересно подробно рассмотреть каждый из названных выше сценариев, показать его особенности и сравнить с другими сценариями прогнозами. Проанализировать прогнозы инвестиций и цен на энергоресурсы. Однако объём статьи не позволяет этого сделать, поэтому рассмотрим лишь один, базовый, показатель этих сценариев – глобальное энергопотребление, и его изменение в каждой из выделенных нами четырёх групп.

Спрос на первичные энергоресурсы в мире в основных рассмотренных сценариях первой группы на уровне 2040 г. лежит в диапазоне от 16,6 млрд т н.э. в сценарии Rivalry компании Equinor (Energy Perspectives..., 2021), до 17,8 млрд т н.э. в Reference Scenario ИЭЭЯ (IEEJ Outlook..., 2021). При этом глобальный спрос в этих сценариях продолжает расти и в последующие 2045–2050 годы. Основу энергетического баланса этих сценариев составляют традиционные энергоресурсы – нефть, природный газ и уголь, хотя срок достижения пика спроса на них в разных прогнозах и различен. Соответственно доля ВИЭ, включая традиционную биомассу, в них невелика – порядка 20–22%, а в прогнозах ИЭЭЯ, который во всех своих работах весьма осторожно оценивает возможности ВИЭ, и того меньше – всего 16%.

Типичным представителем прогнозов этой группы можно назвать Сценарий государственной политики (STEPS) WEO-2020 МЭА, структура перспективного баланса которого представлена в табл. 4 и на рис. 8.

Количественно общий объём энергопотребления второй группы сценариев в целом принципиально не отличается от аналогичных показателей сценариев первой группы, поскольку заложенные в них рост энергоэффективности, продолжающееся развитие технологий, учёт заявленных политических амбиций принципиально уровни потребления не меняют. Эти отличия проявляются лишь внутри прогнозов соответствующего прогностического исследования, что хорошо видно при сравнении сценариев Rivalry и Reform компании Equinor (рис. 9).

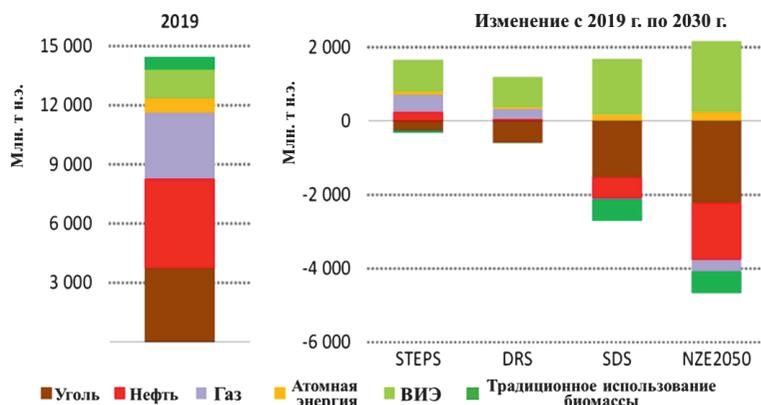


Рис. 8. Изменение структуры глобального потребления первичных энергоресурсов в различных сценариях WEO-2020 МЭА. STEPS – Сценарий государственной политики; DRS – Сценарий позднего восстановления; SDS – Сценарий устойчивого развития; NZE2050 – Сценарий нулевых выбросов к 2050 году. Источник: (World Energy Outlook 2020, 2020).

И хотя в сценариях второй группы по сравнению со сценариями первой принципиально не меняется и структура энергопотребления, тем не менее, доля угля в ней, как правило, немного меньше, а природного газа – больше (табл. 4).

Принципиально отличаются от них сценарии третьей группы, направленные на обеспечение энергетического перехода (табл. 3 и 4). Спрос на первичные энергоресурсы в основных рассмотренных сценариях этой группы на уровне 2040 г. лежит в диапазоне от 13,0 млрд т н.э. в Сценарий устойчивого развития (SDS) WEO-2021 МЭА (World Energy Outlook 2020, 2020), до 15,9 млрд т н.э. в Сценарии передовых технологий (ATS) ИЭЭЯ (IEEJ Outlook..., 2021). При этом глобальный спрос в этих сценариях в последующие 2045–2050 годы в результате проведения активной энергосберегающей политики и других принимаемых мер снижается. Принципиально меняется в сценариях энергетического перехода и структура энергопотребления: доля в ней традиционных энергоресурсов – нефти, природного газа и особенно угля – резко падает, а на первое место выходят ВИЭ (табл. 4). Эти изменения хорошо иллюстрируются в исследованиях Energy Outlook компании BP (рис. 10), Energy Transition Outlook компании DNV, выполненных в одном сценарии (рис. 11), New Energy Outlook компании BloombergNEF (рис. 12) и др.

Из данных, приведенных на рис. 10–12, хорошо видно, насколько разное представление о будущей энергетике у специалистов различных аналитических и прогностических центров. Так, на уровне 2050 г. доля природного газа в структуре глобального энергопотребления в прогнозе компании DNV составляет 29%, а в Климатическом сценарии компании BloombergNEF – только 6%. Зато в этом сценарии доля так называемых «прочих» энергоресурсов, куда отнесены и 801 млн т водорода, полученных электролизом воды, достигает 20%.

По большому счёту, общим для всех этих сценариев и других разработок, связанных с проблематикой энергетического перехода, является то, что в их основе лежит концепция эволюции энергетических систем на базе значительного расширения применения ВИЭ и соответствующего сокращения использования ископаемого топлива, прежде всего угля и нефти, при одновременном существенном росте энергоэффективности по всей цепочке от производства до конечного потребления.

Что касается прогнозов и сценариев, отнесённых нами к четвёртой группе, то они ещё больше, чем сценарии энергетического перехода, направлены на снижение в мировом энергобалансе доли

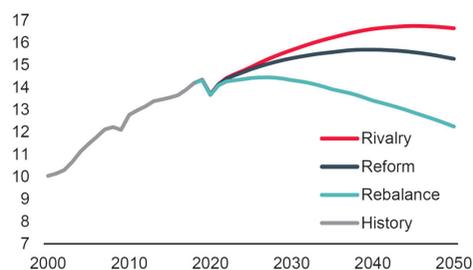


Рис. 9. Динамика глобального энергопотребления в различных сценариях прогностического исследования Energy Perspectives 2021 компании Equinor. Источник: (Energy Perspectives..., 2021).

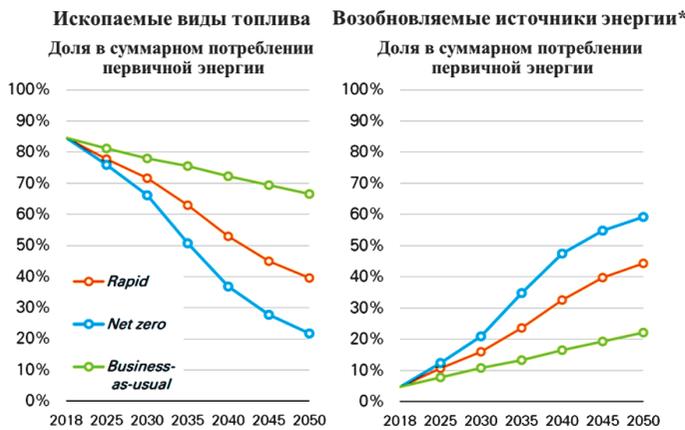


Рис. 10. Доля ископаемых видов топлива и ВИЭ в различных сценариях BP Energy Outlook 2020. * – ВИЭ без учёта крупных ГЭС. Rapid – сценарий быстрого перехода; Net Zero – сценарий нулевых выбросов; Business as Usual – сценарий обычного развития. Источник: (BP Energy Outlook 2020..., 2020).

углеродсодержащих видов топлива, либо на применение их только с использованием различных технологий извлечения и захоронения окиси углерода. Общее представление о таких сценариях дают данные таблиц 3 и 4, а также рис. 8 и 10.

Отдельного рассмотрения заслуживают исследование МЭА «Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector», а также его критика со стороны зарубежных специалистов. Однако из-за размера статьи ограничимся лишь его своеобразным итогом – видением энергопотребления в мире в 2050 г. (рис. 13). Такой

объём энергопотребления и его структура как раз и обеспечивают снижение эмиссии CO₂, включая выбросы промышленных процессов, к 2050 г. до нуля⁷, решая поставленные в исследовании задачи.

Представляют интерес и дополнительные сценарии, основанные на идеологии круговой (или замкнутой) углеродной экономики (The circular carbon economy – CCE). Как отмечают специалисты Секретариата ОПЕК, концепция экономики замкнутого цикла – это зарождающаяся мегатенденция, которая может способствовать смягчению последствий изменения климата. Международное исследовательское сообщество использует разные определения, тем не менее, в нем широко представлена экономическая система с минимальными потерями ресурсов и энергии за счет принципов сокращения, повторного использования и рециркуляции/переработки выбросов (3R) (World Oil Outlook 2045..., 2020).

В развитие концепции круговой/замкнутой углеродной экономики – CCE на базе «3R», специалисты Секретариата ОПЕК и ИЭЭЯ предложили концепцию CCE на основе «4R» – сокращения, повторного использования, рециркуляции и удаления выбросов из окружающей среды за счет естественных стоков (World Oil Outlook 2045..., 2020; IEEJ Outlook..., 2021).

При 2-х условиях: 1) 1936 млрд т CO₂ улавливаются для дальнейшей утилизации и производства различной продукции, включая углероднейтральное топливо, и изымаются из атмосферного воздуха за счет естественных стоков (например, посадки лесов); 2) 7602 млрд т CO₂ улавливаются и захораниваются (Net Zero by 2050..., 2021).

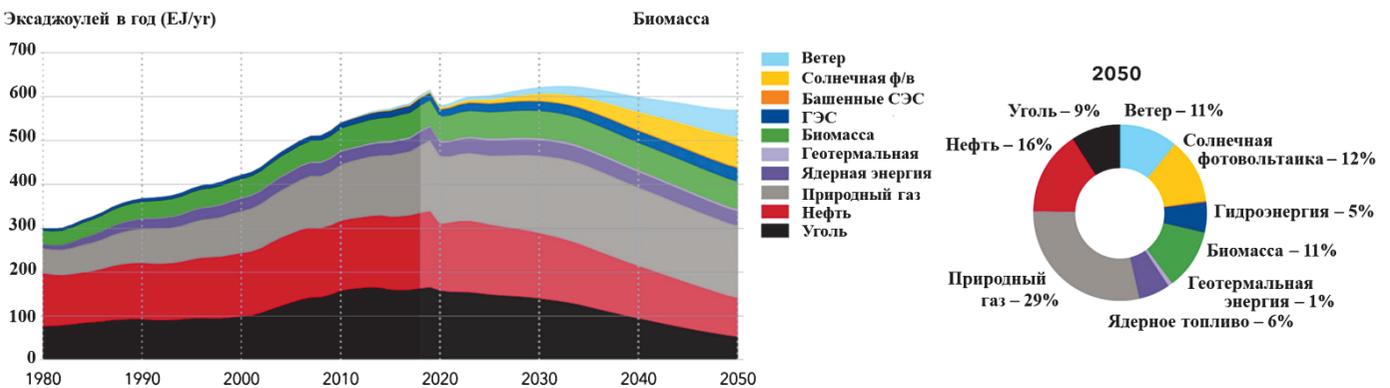


Рис. 11. Динамика и структура мирового потребления первичных энергоресурсов – прогноз компании DNV. Источник: (Energy Transition Outlook..., 2020).

	МЭА		ОПЕК		ФСЭГ		ИЭЭЯ			Equinor		
	WEO-2020		WOO-2020		Global Gas Outlook 2020		IEEJ Outlook 2021			Energy Perspectives 2021		
	Сценарии	Сценарий	Сценарий	Сценарий	Сценарии	Сценарии	Сценарии	Сценарии	Сценарии	Сценарии	Сценарии	
	STEPS	SDS	Reference	Reference	CMS	Reference	ATS	PCS	CCE	Rivalry	Reform	Rebalance
Нефть	28	23	27	27	25	30	28	28	24	30	25	17
Природный газ	25	23	25	28	30	28	24	28	30	24	25	21
Уголь	19	10	20	16	10	21	14	20	12	17	14	6
Атомная энергия	5	9	5	5	6	5	8	5	8	...	...	...
ВИЭ	22	35	23	24	29	16	26	19	26	10*	15*	28*
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Табл. 4. Структура энергопотребления в прогнозных исследованиях МЭА, Секретариата ОПЕК, Секретариата ФСЭГ, ИЭЭЯ и компании Equinor. * Только «новые» ВИЭ. Прогнозный год: МЭА – 2040, ОПЕК – 2045, ФСЭГ, ИЭЭЯ и Equinor – 2050. Рассчитано и составлено по данным (World Energy Outlook..., 2020; World Oil Outlook 2045..., 2021; GECF Global Gas Outlook 2050..., 2021; IEEJ Outlook..., 2021; Energy Perspectives..., 2021).



Рис. 12. Структура потребления первичных энергоресурсов в мире – Климатический сценарий (NEO Climate Scenario – NCS) New Energy Outlook компании BloombergNEF. Источник: (New Energy Outlook 2020..., 2020).

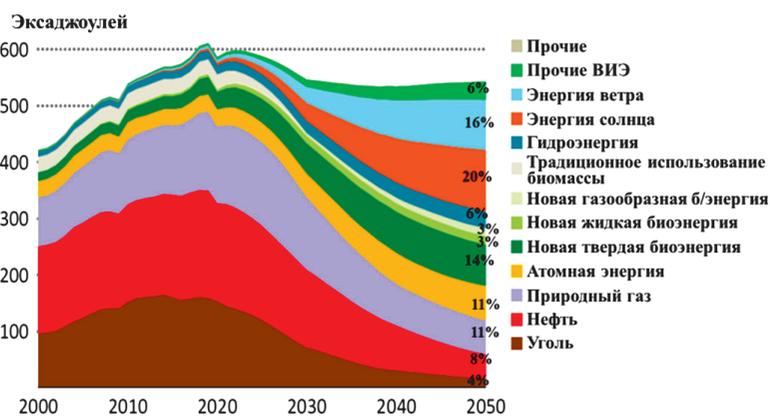


Рис. 13. Общее энергоснабжение в мире в сценарии NZE исследования МЭА «Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector». По данным (Net Zero by 2050..., 2021).

Заключение

В заключение хотелось бы, прежде всего, отметить, что разработка долгосрочных прогностических исследований развития мировой энергетики стало значительной частью научной деятельности как различных международных организаций и ведущих государств мира (США, Китая, Евросоюза, Франции, Японии, Р. Корея и др.), так и крупнейших многопрофильных энергетических, нефтегазовых и энергосервисных компаний. Опирающиеся на достижения 4-й промышленной революции в области моделирования, цифровизации, информационных технологий, развития глобальных сетей и потоков, прогностические исследования позволяют рассматривать самые различные сценарии развития в зависимости от тех или иных принимаемых решений. Как отмечали ещё в августе 2013 г. специалисты Аналитического центра при Правительстве РФ, каждый год в мире появляются сотни и даже тысячи новых энергетических прогнозов, отражающих различные точки зрения на будущее энергетики в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе (Долгосрочное прогнозирование в энергетике, 2013). С тех пор количество подобных прогнозов продолжает расти.

Но вот вклад России, её специалистов в этот процесс минимален, особенно со стороны крупнейших нефтегазовых компаний. А ведь подобные прогнозы позволяют не только представить энергетическое будущее, но и отражать через них интересы организаций-составителей, «навязать» свои взгляды на то, каким оно должно быть. Более того, у нас не поставлена работа даже по систематическому изучению зарубежных прогнозов, чтобы не запутаться в их многообразии, по мониторингу ситуации в этой области.

Представляется, что подобное отношение необходимо менять, и менять как можно скорее.

Литература

- Долгосрочное прогнозирование в энергетике (2013). *Энергетический бюллетень*, 5. Аналитический центр при Правительстве РФ
- Баунов А. (2020). Ревизия границ. Какими будут международные отношения после пандемии? Московский Центр Карнеги. https://carnegie.ru/commentary/81714?utm_source=rssemail&utm_medium=email
- Мастепанов А.М. (2016). О глобальном потеплении, низкоуглеродной энергетике и перспективах нефтегазовой отрасли. *Экологический вестник России*, 5, с. 20–31.

Мастепанов А.М. (2017). Климат ориентированные сценарии в прогнозах Международного энергетического агентства. *Экологический вестник России*, 6, с. 4–10.

Мастепанов А.М. (2019). Энергетический переход: к чему готовиться мировому нефтегазу. *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*, 11(179), с. 5–6.

Мастепанов А.М. (2020а). Большие циклы и «чёрные лебеди». *Энергетическая политика*, 6(148), с. 4–19.

Мастепанов А.М. (2020б). Мир на изломе или новая реальность: о прогнозах развития энергетики и её нефтегазовой отрасли. *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. Научно-экономический журнал*, 5(185), с. 9–10.

BP Energy Outlook 2020 edition. Energy Outlook 2020. 234 p. bp.com

Energy Perspectives 2021. Long-term macro and market outlook. Equinor ASA, June 2021. 58 p. <https://www.equinor.com/en/sustainability/energy-perspectives.html>

Energy Transition Outlook 2020. A Global and Regional Forecast to 2050. DNV GL, 306 p.

GECF Global Gas Outlook 2050 Synopsis (2021). Gas Exporting Countries Forum. <https://www.gecf.org/insights/global-gas-outlook?d=2021&p=1>

Global Economic Prospects (2021). Washington, DC: World Bank, 234 p. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1612-3>

IEEJ Outlook 2021 (2021). Energy transition in the post corona world. IEEJ, 206 p. <https://eneken.iej.or.jp/data/9417.pdf>

Keramidas K., Fosse F., Diaz-Vazquez A., Schade B., Tchung-Ming S., Weitzel M., Vandyck T., Wojtowicz K. (2021). Global Energy and Climate Outlook 2020: A New Normal Beyond Covid-19. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/jrc>

McKinsey Energy Insights. Global Energy Perspective 2021 (2020). Energy landscape. McKinsey.

Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector (2021). IEA, 223 p. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

New Energy Outlook 2020 (2020). Executive Summary. BloombergNEF, 29 p. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#toc-download>

World Energy Outlook (2020). OECD/IEA, 464 p. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

World Oil Outlook 2045 (2020). Organization of the Petroleum Exporting Countries, 311 p. opec.org

Сведения об авторе

Алексей Михайлович Мастепанов – доктор экон. наук, профессор, заведующий Аналитическим центром энергетической политики и безопасности, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН; профессор, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина

Россия, 119333, Москва, Губкина, д. 3
e-mail: amastepanov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.07.2021;
Принята к публикации 02.08.2021; Опубликована 30.08.2021

From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of world energy

A.M. Mastepanov^{1,2}

¹Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation

e-mail: amastepanov@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of forecasts of the world energy development made recently (from September 2020 to May 2021) by the world’s leading analytical centers, taking into account “the new reality” – the coronavirus pandemic. The impact of the Covid-19 pandemic on the development of the world economy and energy consumption and the estimates of its consequences on long-term global economic growth made in various forecasts and prognostic studies are considered. It is shown that the priority of most of the prognostic estimates of the world consumption of primary energy resources made by the world’s leading analytical centers in recent years is a sharp reduction in CO₂ emissions by energy and stabilization of global anthropogenic greenhouse gas emissions in order to prevent negative climate changes on our planet. A conditional classification of scenarios for the prospective development of global energy is given, depending on the ideology that is embedded in them, an analysis of the fulfilled forecasts is given. It is concluded that Russian research structures need to develop their own similar forecasts.

Keywords: coronavirus pandemic, energy transition, forecasts and scenarios, energy poverty, energy consumption, renewable energy sources, energy efficiency

Recommended citation: Mastepanov A.M. (2021). From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of world energy. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 42–52. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.7>

References

- BP Energy Outlook 2020 edition. Energy Outlook 2020. 234 p. bp.com
- Baunov A. (2020). What will international relations be like after the pandemic? Carnegie Moscow Center. (In Russ.). https://carnegie.ru/commentary/81714?utm_source=rssemail&utm_medium=email
- Energy Perspectives 2021. Long-term macro and market outlook. Equinor ASA, June 2021. 58 p. <https://www.equinor.com/en/sustainability/energy-perspectives.html>
- Energy Transition Outlook 2020. A Global and Regional Forecast to 2050. DNV GL, 306 p.

- GECF Global Gas Outlook 2050 Synopsis (2021). Gas Exporting Countries Forum. <https://www.gecf.org/insights/global-gas-outlook?d=2021&p=1>
- Global Economic Prospects (2021). Washington, DC: World Bank, 234 p. DOI: 10.1596/978-1-4648-1612-3
- IEEJ Outlook 2021 (2021). Energy transition in the post corona world. IEEJ, 206 p. <https://eneken.ieej.or.jp/data/9417.pdf>
- Keramidas K., Fosse F., Diaz-Vazquez A., Schade B., Tchung-Ming S., Weitzel M., Vandyck T., Wojtowicz K. (2021). Global Energy and Climate Outlook 2020: A New Normal Beyond Covid-19. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/jrc>
- Long-term forecasting in energy (2013). *Energy Bulletin*, 5. Analytical Centre for the Government of the Russian Federation. (In Russ.)
- Mastepanov A.M. (2016). About global warming, low-carbon energy and the prospects for the oil and gas industry. *Ekologicheskii vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], 5, pp. 20–31. (In Russ.)
- Mastepanov A.M. (2017). Climate-driven scenarios in the forecasts of the International Energy Agency. *Ekologicheskii vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], 6, pp. 4–10. (In Russ.)
- Mastepanov A.M. (2019). Energy transition: what to prepare for the global oil and gas industry. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*, 11(179), pp. 5–6. (In Russ.)
- Mastepanov A.M. (2020a). Big cycles and black swans. *Energeticheskaya politika* [Energy Policy], 6(148), pp. 4–19. (In Russ.)
- Mastepanov A.M. (2020b). A world at a breaking point or a new reality: forecasts for the development of the energy sector and its oil and gas industry. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*, 5(185), pp. 9–10. (In Russ.)
- McKinsey Energy Insights. Global Energy Perspective 2021 (2020). Energy landscape. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2021>
- Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector (2021). IEA, 223 p. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- New Energy Outlook 2020 (2020). Executive Summary. BloombergNEF, 29 p. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/#toc-download>
- World Energy Outlook (2020). OECD/IEA, 464 p. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- World Oil Outlook 2045 (2020). Organization of the Petroleum Exporting Countries, 311 p. opec.org

About the Author

Alexey M. Mastepanov – Dsc (Economics), Professor, Head of the Analytical Centre for Energy Policy and Security, Chief Researcher, Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences; Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) 3, Gubkin st., Moscow, 119333, Russian Federation

Manuscript received 21 July 2021;

Accepted 2 August 2021; Published 30 August 2021

Глобальный энергетический переход: проблемы и возможности – перспектива из Северной Америки

Т. Кёнинг

Старший геолог – Независимый консультант, Калгари, Канада
e-mail: tako.koning@gmail.com

Перспектива энергетического перехода доминирует в средствах массовой информации в Северной Америке и других частях мира. Десятилетие назад большинство людей рассматривали глобальное потепление как научную тему, которая не влияет на них самих и не вызывает серьезного беспокойства. Однако в настоящее время во многих частях мира наблюдаются рекордные температуры и связанные с ними экологические последствия, такие как обширные лесные пожары на западе США и Канады. Соответственно, правительства во всем мире признают необходимость того, чтобы будущая экономическая деятельность была углеродно-нейтральной или, как ее еще называют, углеродно-нулевой. Достижение цели углеродно-нейтральной экономики к 2050 году будет чрезвычайно сложной задачей, но также появятся и экономические возможности в результате масштабного развития солнечной, ветровой и геотермальной энергии.

Ключевые слова: Парижское соглашение по климату, углеродно-нейтральная экономика, возобновляемые источники энергии, улавливание и хранение углерода

Для цитирования: Кенинг Т. (2021). Глобальный энергетический переход: проблемы и возможности – перспектива из Северной Америки. *Георесурсы*, 23(3), с. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.8>

Ведение

Прошедший год стал для мировой нефтяной промышленности годом потрясений. Пандемия Covid-19, начавшаяся весной 2020 г., привела к падению мирового спроса на нефть со 101 млн баррелей нефти в день до нынешних 94 млн баррелей нефти в день. Цены упали с 60 долларов США за баррель до нулевого уровня в апреле прошлого года и теперь восстановились до текущей цены в 70 долларов США за баррель (на 23 июля 2021 года).

Год назад в мире уже всерьез обсуждалась необходимость перехода к экономике с нулевым выбросом двуокиси углерода (нулевым выбросом углерода). В мировой экономике поставлена цель снижения уровня выбросов углерода до нулевого к 2050 году. За последний год все большее число независимых фондов, банков и институциональных инвесторов заявляют о своем намерении отказаться от своих инвестиций в нефтегазовые компании.

На рисунках 1–4 показаны проблемы, с которыми сталкивается современный мир, с точки зрения содержания CO₂ в атмосфере, повышения температуры, увеличения выбросов CO₂ на региональной основе и исторического роста населения.

Энергетический переход требует критического осмысления

Перспектива энергетического перехода доминирует в средствах массовой информации в Северной Америке. Текущие рекордно высокие температуры и обширные лесные пожары на западе США и Канады усиливают осознание общественностью насущной потребности мира в ускорении перехода к альтернативной энергетике. Люди пытаются понять, являются ли такие температуры и экологический стресс «новой нормой». Однако существуют общие философские вопросы и вопросы

социальной справедливости, которые также необходимо учитывать при энергетическом переходе. Скотт Тинкер – американский геолог, научный и общественный деятель, бывший президент Американской ассоциации геологов-нефтяников и в настоящее время руководитель отдела экономической геологии Техасского университета (Остин, штат Техас, США) – является создателем документального фильма об энергетике под названием «Включение» («Switch-on»). Он выделяет следующие тезисы на многих своих презентациях по всему миру (Tinker, 2021).

1. Глобальные проблемы бедности не могут быть решены без адекватного энергоснабжения.

2. Один миллиард человек в мире не имеют электричества, и третья часть мира страдает от недостатка электричества (*энергетической бедности*).

3. Большинство мировых проблем – включая болезни, голод, нехватку одежды, жилья, иммиграцию и миграцию, рост населения, здравоохранение и даже расширение прав и возможностей женщин, не могут быть решены без помощи *доступной энергии*.

4. Соответственно, правительства во всем мире, работая над энергетическим переходом, должны также учитывать потребности тех, кто не имеет энергоснабжения, или тех, кто живет в условиях энергетической бедности.

Глобальная политика и энергетический переход

Избрание в США президента Джо Байдена оказало серьезное влияние на нефтяную промышленность, поскольку администрация Байдена немедленно объявила о своем намерении присоединить Соединенные Штаты к Парижскому соглашению по климату.

Почти все страны подписали Парижское соглашение в 1996 году, цель которого – удержать рост глобальной средней температуры «намного ниже 2,0 °C» и «приложить усилия» для ограничения роста температуры величиной 1,5°C. Важность этого подчеркивает заявление

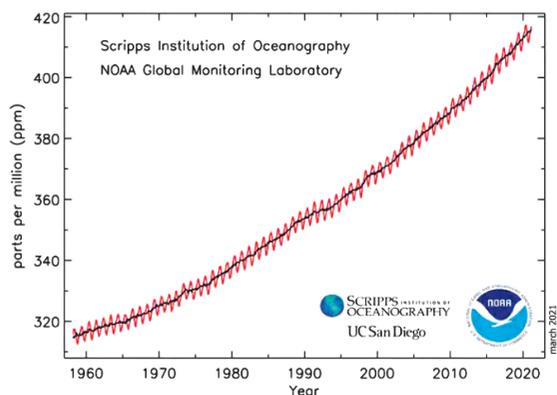


Рис. 1. CO₂ в атмосфере с 1960 по 2020 год, за 60 лет наблюдений в обсерватории Мауна-Лоа, Гавайи, США. Концентрация CO₂ увеличилась с 315 частей на млн до 415 частей на млн – устойчивое увеличение на 32%. Источник: Scripps Institute of Oceanography, University of California, 2021.

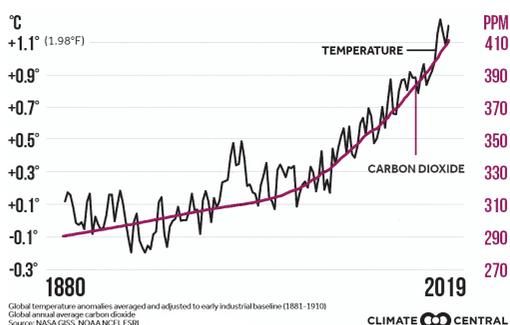


Рис. 2. Глобальные температуры и углекислый газ с 1880 по 2019 год. За 139 лет выбросы CO₂ увеличились на 42%. Источник: Climate Central.

от 28 января 2021 г., сделанное Джоном Керри, посланником президента США по вопросам климата, о том, что «Саммит ООН по климату в Глазго, который состоится с 1 по 12 ноября 2021 г., – это последний реальный шанс для мирового сообщества предотвратить наихудшие глобальные экологические последствия для окружающей среды». Министерство энергетики США заявляет, что нет более серьезной проблемы, стоящей перед США и всей планетой, чем климатический кризис. Китай, второй по величине потребитель нефти в мире после США, также привержен энергетическому переходу. Ранее в этом году президент Китая Си Цзиньпин объявил, что Китай достигнет пика выбросов к 2030 году и будет снижать выбросы углерода до нуля к 2060 году. На рисунке 5 показаны уровни выбросов в США и Китае за последние четыре десятилетия.

Канада

Что касается Канады, правительство страны поставило цель достичь «нулевого» выброса парниковых газов в масштабах всей экономики к 2050 году. Хотя общие выбросы CO₂ в Канаде относительно невелики по сравнению с США и Китаем из-за небольшого количества населения, составляющего всего лишь 35 млн человек, Канада имеет самый высокий в мире уровень выбросов на душу населения благодаря высокому уровню жизни и очень холодному климату, который требует много энергии для обогрева домов, офисов и предприятий. Кроме того, Канада является второй по величине страной в мире после России, и из-за больших расстояний между нашими городами канадцы потребляют много бензина, дизельного и реактивного топлива во время поездок по стране. Сжигание каменного

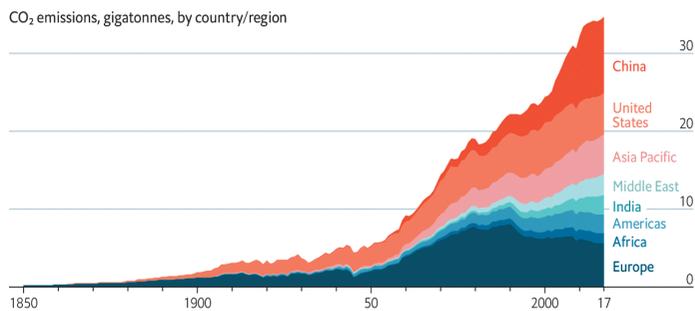


Рис. 3. Выбросы CO₂ в гигатоннах, по странам и регионам, с 1850 по 2017 год. Источник: Global Carbon Project, Carbon Dioxide Information Analysis Centre. Опубликовано: The Economist, 2020.

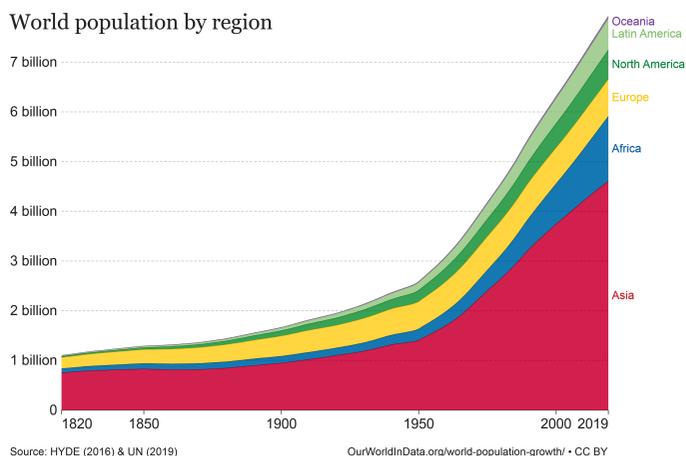


Рис. 4. Прирост населения по регионам, 1820–2019 гг. В 1950 году в мире проживало 2 миллиарда человек. В 2021 году в мире будет почти 8 миллиардов человек. Такой быстрый рост населения не является экологически устойчивым. Источник: United Nations, 2019 г.

угля и природного газа для производства электроэнергии также повлияло на высокий уровень выбросов на душу населения. Правительство Канады повысит налоги на выбросы углерода до 170 долларов за тонну к 2030 году. Канадские экологические группы и правительство Канады, а также правительства провинций считают, что потери от продолжающегося изменения климата, состоящего из неблагоприятных погодных эффектов, таких как наводнения и лесные пожары, намного перевешивают краткосрочные экономические потери, связанные с налогами на выбросы углерода, сокращением рабочих мест и валового внутреннего продукта (ВВП). С другой стороны, значительная занятость будет создана за счет развития «зеленой энергетики», которая складывается из использования солнечной, ветровой и геотермальной энергии.

Канада как крупный производитель нефти и газа сталкивается с трудными решениями, как и ведущие

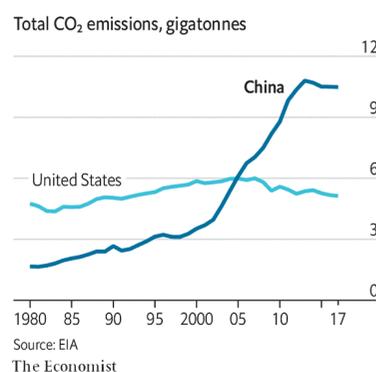


Рис. 5. Выбросы CO₂ в Китае и США, 1980–2019 гг. Источник: Агентство энергетической информации США. Опубликовано: The Economist, 2020.

страны-производители нефти и газа во всем мире. С экономической точки зрения нефть и газ чрезвычайно важны для Канады, поскольку их экспорт является крупнейшей отраслью Канады. Объем экспорта нефти и газа (в основном в США) в 2020 году составил 63 млрд канадских долларов. Население Канады продолжает значительно увеличиваться, в основном за счет иммиграции, поскольку Канада считается основным направлением для иммигрантов. А растущее население нуждается во все большем производстве энергии.

Проблема для таких стран, как Канада, заключается в том, как увеличить производство энергии при одновременном сокращении выбросов CO₂.

В то время как Канада полна решимости ограничить добычу нефти и газа из-за связанных с ней выбросов CO₂, добыча нефти и газа в Канаде продолжается высокими темпами. Примером крупного газового проекта, реализуемого в Канаде, является строительство в настоящее время крупнейшего завода по производству сжиженного природного газа (СПГ) в Китимате на побережье Британской Колумбии. Этот проект стоимостью 40 миллиардов канадских долларов реализуется компанией Shell и ее партнерами в Китимате. Партнерами Shell являются малайзийская Petronas, японская Mitsubishi Corporation, Petrochina и корейская KOGAS. СПГ будет экспортироваться в основном на азиатские рынки.

В других частях Канады, особенно в восточных провинциях Онтарио и Квебек, которые считаются промышленным центром Канады, население в целом выступает против разработки нефти и газа. Некоторые наблюдатели считают этот факт парадоксальным, поскольку обе эти провинции являются крупнейшими потребителями нефти в Канаде благодаря потребности транспорта в топливе. Канадский парадокс иллюстрируется тем, что, хотя крупный проект СПГ строится на западном побережье Канады, предложенный большой проект СПГ был отклонен правительством Квебека. 21 июля 2021 года правительство Квебека объявило, что не поддержит строительство предлагаемого завода по производству СПГ стоимостью 9 млрд канадских долларов в районе Сагены (Saguenay), Квебек. В рамках этого проекта планировалось экспортировать 11 млн тонн СПГ в год с газовых месторождений в Западной Канаде на мировые рынки. Правительство Квебека заявило: «Этот проект не будет реализован из-за нашей озабоченности по поводу его выбросов, и этот проект также не поддерживает переход на более чистые источники энергии. У этого проекта больше недостатков, чем преимуществ». Соответственно, данный предложенный проект был остановлен (Quebec Spurns \$9B LNG Project, 2021).

Две стороны глобального энергетического перехода
Энергетический переход имеет две стороны: во-первых, необходимость разработки глобальной энергетической дорожной карты, которая приведет страны к достижению углеродно-нейтрального баланса к 2050 году. Во-вторых, для того, чтобы стать углеродно-нейтральными, быстро развивается ряд технологий: морские и наземные ветровые, солнечные, водородные, а также технологии улавливания и хранения двуокси углерода. Такие технологии будут массово выводиться на рынок в ближайшие 25 лет. Для мировой нефтегазовой отрасли очевиден вопрос: какую роль будут играть нефть и газ в процессе энергетического перехода?

Нефть. Несмотря на глобальные экономические потрясения в прошлом году, наличие нефти для подпитки мировой экономики остается критически важным. Такие агентства, как Международное энергетическое агентство (МЭА), по-прежнему прогнозируют, что потребление нефти после пандемии вырастет до 101 млн баррелей нефти в сутки к 2022 году, а затем начнет постепенно сокращаться.

По данным (Xu, Bell, 2021) 10 крупнейших мировых производителей нефти в 2020 году (в млн баррелей нефти в сутки): 1. США 11,0 млн баррелей в сутки; 2. Россия 10,8; 3. Саудовская Аравия 10,4; 4. Канада 4,7; 5. Ирак 4,6; 6. Китай 4,0; 7. Бразилия 3,0; 8. ОАЭ 2,6; 9. Иран 2,4; 10. Кувейт 2,3.

Природный газ. Тем временем главный участник энергетического перехода – природный газ – возьмет на себя роль промежуточного топлива. Природный газ обеспечивает наиболее чистое сжигание углеводородов и все чаще рассматривается в качестве промежуточного топлива или «переходного топлива», необходимого для перехода к экономике с нулевым выбросом углерода. Таким образом, в ближайшее десятилетие мы можем ожидать резкого увеличения объемов разведки и добычи газа в нефтегазовой отрасли.

Мировое потребление газа остается чрезвычайно высоким. Согласно недавнему отчету Международного газового союза (International Gas Union, IGU), в 2020 году, несмотря на воздействие Covid-19, мировая торговля СПГ выросла до рекордного уровня, прежде всего в Азии (12th Annual World LNG Report, 2021). Действительно, согласно прогнозам, к 2040 году мировой спрос на СПГ увеличится почти вдвое, как сообщает Royal Dutch Shell в своем годовом обзоре рынка СПГ. Импорт СПГ азиатскими странами стремительно растет из-за продолжающегося устойчивого экономического роста особенно в таких странах, как Китай и Индия. Кроме того, Китай резко увеличивает импорт СПГ для производства электроэнергии, поскольку он отказывается от использования электростанций, работающих на угле, сильно загрязняющих окружающую среду.

В целом мировая торговля СПГ увеличилась до 356,1 млн тонн в 2020 году, что на 1,4 млн тонн или примерно на 0,4% больше по сравнению с 2019 годом. Рост был бы намного выше, если бы Covid-19 не снизил экономическую активность. Торговля СПГ поддерживалась в первую очередь увеличением спроса из Азии, что привело к увеличению экспорта из США и Австралии, согласно годовому отчету IGU. В 2020 году Австралия обогнала Катар как крупнейшего экспортера СПГ в мире, в то время как США и Россия остались третьим и четвертым крупнейшими экспортерами, соответственно, как показано на рисунке 6.

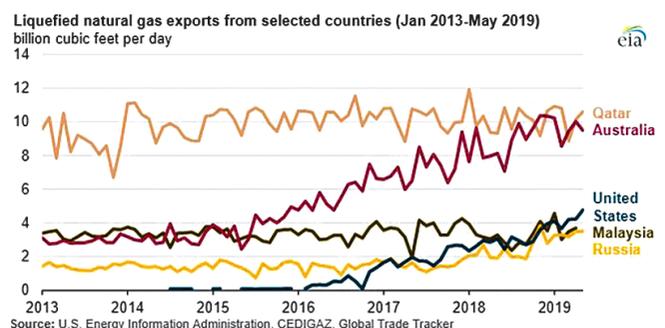


Рис. 6. Мировой экспорт СПГ. С 2016 года экспорт ежегодно увеличивается. Австралия особенно наращивает экспорт СПГ, в первую очередь в Китай. Источник: USA Energy Information Administration, 2020.

Россия играет ключевую роль в оказании помощи Западной Европе, особенно Нидерландам и Германии, в их движении к энергетическому переходу. Обе страны увеличивают импорт природного газа из России. В Нидерландах из-за проседания пластов и связанных с добычей газа землетрясений вблизи Гронингена, крупнейшего газового месторождения Европы, добыча в Гронингене прекратилась. Ранее месторождение Гронинген обеспечивало большую часть потребления газа Европой, включая Германию. Существенно важно то, что Германия ввела мораторий на использование ядерной энергии, а также сокращает потребление угля для производства электроэнергии, поэтому ее потребность в газе возросла. Таким образом, Россия помогает уменьшить растущий дефицит энергии как в Германии, так и в Нидерландах. Между тем, газопровод «Северный поток – 2» почти готов, осталось построить всего 33 км (по состоянию на 22 июля). Строительство будет полностью завершено к концу этого года и позволит России экспортировать больше газа в Западную Европу.

На Петербургском международном экономическом форуме 2–5 июня 2021 года Роснефть, крупнейший производитель нефти в России, объявила о подписании соглашения о сотрудничестве с американской нефтесервисной компанией Baker Hughes для изучения возможностей использования водорода в качестве альтернативного топлива для своей деятельности. Роснефть также ожидает, что Baker Hughes предоставит ей «технологии и оборудование» для обнаружения, измерения и сокращения выбросов парниковых газов, уделяя особое внимание сокращению утечек метана. Газпром нефть также объявила в своем меморандуме о взаимопонимании с Royal Dutch Shell, что обеим компаниям предлагается изучить возможность развертывания решений по улавливанию, утилизации и хранению углерода и его соединений (CCUS) на своих совместных предприятиях в России (Russian Oil Giants Pen Carbon-Focused Pacts..., 2021).

Уголь. Уголь был ключевым компонентом экономики промышленно развитых стран со времен промышленной революции 1760–1840 годов. Однако уголь также является источником наибольших выбросов CO₂ среди ископаемых видов топлива. Австралия является крупнейшим в мире экспортером коксующегося угля, используемого для производства стали. Австралия также является вторым по величине потребителем энергетического угля для выработки электроэнергии.

2 июня 2021 года группа промышленно развитых стран G7 ужесточила свою позицию в отношении использования ископаемого топлива и объявила, что уголь является их первой целью. В G7 входят Канада, Франция, Германия, Италия, Япония, Великобритания, США. Группа семи призвала к «абсолютному» прекращению любой новой прямой государственной поддержки международного производства электроэнергии с помощью угля к концу 2021 года и также напомнила своим странам-членам, что любое финансирование ископаемого топлива должно соответствовать целям Парижского соглашения (Wacket, Piper, 2021).

Мировые цены на нефть и стоимость возобновляемых ресурсов

Текущая цена в 70 долларов за баррель с поправкой на инфляцию не отличается от цен середины 1970-х годов несмотря на то, что прошло 45 лет. Соответственно, текущая цена на нефть очень низка ввиду значительного увеличения стоимости жилья, образования, транспортных

средств, продуктов питания и товаров, которые значительно выросли за эти 45 лет. Поэтому «дешевая нефть» препятствовала переходу на более дорогие возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, энергия ветра и геотермальная энергия. Однако сейчас, благодаря технологическому прогрессу, стоимость возобновляемых источников энергии продолжает снижаться, и они становятся все более экономически конкурентоспособными по сравнению с нефтью. В итоге исследователи из таких институтов, как Имперский колледж в Лондоне, обнаружили, что инвестиции в возобновляемые источники энергии приносят гораздо более высокую отдачу, чем ископаемое топливо (Dovovan, 2020).

Ответ крупных международных нефтяных компаний

Гигантские нефтегазовые компании изменяются по-разному и с разной скоростью (Whaley, 2021). Наблюдается тенденция их трансформации от международных нефтяных компаний к интегрированным энергетическим компаниям, но этот процесс происходит различными путями по обе стороны Атлантического океана.

Некоторые крупные европейские международные нефтяные компании, включая BP и Total, решили, что, будучи участниками «углеродной проблемы», они хотят быть частью безуглеродного решения, и начали переход от нефтяных компаний к энергетическим компаниям (Kreeft, 2020). И действительно, Total уже переименовалась в TotalEnergies.

Испанская государственная нефтяная компания Repsol тоже проводит значительные изменения, чтобы к 2050 году достичь нулевых выбросов. В этом году она продает свои доли в четырех разведочных блоках в Малайзии и Вьетнаме. Repsol также продала активы в России и оставила добычу нефти в Испании.

«Знаковая неделя» прошла с 23 по 29 мая 2021 года, когда в трех крупнейших нефтяных компаниях мира произошли беспрецедентные изменения. (1) Royal Dutch Shell. 26 мая решение голландского гражданского суда послужило серьезным предупреждением о глобальном потеплении для Shell и, косвенно, для других крупных международных нефтяных компаний. 26 мая суд обязал Shell более активно сократить выбросы CO₂ – на 45% к 2030 году по сравнению с уровнем 2019 года. (2) ExxonMobil Corp. Инвесторы-активисты, ориентированные на охрану окружающей среды, смогли получить три места в совете директоров американской компании ExxonMobil. (3) Chevron Corp. 26 мая акционеры Chevron, базирующейся в США, проголосовали против пожелания совета директоров и проголосовали за предложение по климату, чтобы включить выбросы от будущего сжигания топлива потребителями в качестве составной части будущих целей Chevron по сокращению выбросов CO₂ (Reguly, 2021; Marsh, Quinson, 2021).

В настоящее время ряд крупных международных нефтяных компаний, включая BP, китайскую Sinopec, норвежскую Equinor и Shell, рассматривают водородное топливо для обеспечения спроса на энергоносители, который в противном случае может снизиться по мере ускорения декарбонизации. Они планируют использовать существующие трубопроводы, танкеры-хранилища и запасы топлива для производства «голубого водорода» – процесса, в котором используется природный газ, но улавливаются и сохраняются выбросы углерода и его соединений. Самый

простой путь к нулевым выбросам – это использование водорода, производимого возобновляемой электроэнергией, известного в отрасли как «зеленый водород», но согласно экспертным оценкам, «голубой водород» будет дешевле как минимум до 2030 года, по мере наращивания доли ветровой и солнечной энергии (Morison, Hurst, 2021).

Достижимы ли нулевые выбросы к 2050 году?

18 мая 2021 года МЭА (International Energy Agency – IEA) выпустило отчет под названием «Чистый ноль к 2050 году: дорожная карта для глобального энергетического сектора» – «Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector» (International Energy Agency, 2021). МЭА находится в Париже, Франция, и насчитывает 30 стран-членов и 8 ассоциированных стран-членов. Отчет МЭА был охарактеризован многими как «сенсационный» и «радикальный», поскольку в нем говорилось следующее: (1) Если мир хочет эффективно положить конец глобальному потеплению, нет необходимости в дальнейших инвестициях в разработку нефти и газа. (2) Нет необходимости в разведке нефти и газа, кроме разрабатываемых в настоящее время месторождений нефти и газа. Нет необходимости в новых месторождениях нефти. (3) МЭА призвало к масштабному продвижению экологически чистой энергии, чтобы к 2050 году достичь нулевого выброса углерода в атмосферу.

Реакция на отчет МЭА от 18 мая 2021 г. включала следующие два примера. Американский институт нефти заявил: «Любой путь к нулевому показателю выбросов должен включать постоянные инновации и использование природного газа и нефти, которые вытесняют уголь в развивающихся странах и позволяют использовать возобновляемые источники энергии». Торговая организация в США – Национальная ассоциация оффшорной промышленности заявила: «Решения в области климата и выбросов должны обеспечивать баланс между экологическими, социальными, экономическими и энергетическими потребностями общества. Эти потребности взаимосвязаны. Прогресс в одной области нельзя внедрять в ущерб другим потребностям».

Ниже приводится пример лишь одной из проблем, с которыми сталкивается энергетический переход. В настоящее время в США на дорогах находится 290 млн автомобилей, средний возраст которых составляет 12 лет. Почти все эти автомобили работают на бензине или дизельном топливе. Как быстро эти автомобили можно заменить электромобилями? Потребуется масштабное строительство солнечных, ветряных и атомных электростанций по всей территории США, строительство которых потребует начать практически сразу. Однако поддержит ли американское население такие существенные изменения, или будет сопротивляться?

Нулевые выбросы к 2050 году? Но не без ядерной энергетики

В международных средствах массовой информации появлялись обширные статьи и дискуссии о будущей роли ядерной энергетики в энергетическом переходе. Подавляющее преимущество ядерной энергетики заключается в том, что она не выделяет CO₂. EIA (Energy Information Administration – Управление энергетической информации) США ожидает быстрого восстановления спроса на энергию и соответствующее увеличение выбросов в этом году (2021 г.). По прогнозам EIA, к 2050

году выбросы CO₂ в США, связанные с энергетикой, будут на 5 процентов выше уровня 2020 года (Conca, 2021). 22 апреля 2021 года президент Джо Байден провел в Вашингтоне виртуальный саммит лидеров по вопросам климата, на котором присутствовали почти все мировые лидеры, включая Бориса Джонсона из Великобритании, Владимира Путина из России, Си Цзиньпина из Китая и Джастина Трюдо из Канады. Президент Байден заявил, что, стремясь быстрее повернуть кривую выбросов вниз, США стараются к 2030 году сократить вдвое выбросы относительно пикового уровня 2005 года – чуть менее 6 миллиардов тонн CO₂.

По мнению различных исследовательских институтов энергетики и энергетических аналитиков, включая Джеймса Конка (Conca, 2021), ядерная энергия должна играть гораздо более важную роль, чтобы к 2050 году достичь нулевых выбросов CO₂.

По данным МЭА на 2021 г. самый высокий показатель доли ядерной энергии в электроэнергии, производимой странами, во Франции – 71,7%, в США – 19,3%, в России – 17,9%, в Канаде – 14,9%, в Германии – 11,7%, в Китае – 4,7%, а самый низкий показатель у Ирана – 2,1%.

Население продолжает расти и приближается к прогнозируемому пику в 10 миллиардов человек. Доступ к энергии вполне может быть лучшим средством защиты окружающей среды в мире. Индекс человеческого развития ООН и другие исследования показали, что достижение уровня потребления 3000 киловатт-часов на человека приводят к снижению рождаемости. По словам Конка, «люди становятся достаточно зажиточными, чтобы не зависеть от своих детей, которые кормят их в старости. Без энергии невозможно спасти людей и планету».

За последние пять десятилетий ядерная энергетика добилась значительного прогресса в области безопасности, эффективности и стоимости. Глобальные организации, такие как Межправительственная группа экспертов по изменению климата, Международное энергетическое агентство, Сеть организаций при ООН для выработки решений в области устойчивого развития и Глобальная комиссия по экономике и климату, поощряют утроение количества ядерной энергии в мире для стабилизации глобальных выбросов углерода (Conca, 2021). Одновременно потребуется быстрое наращивание солнечной, ветровой и геотермальной энергии, чтобы мир достиг нулевого уровня выбросов CO₂.

Новые возможности для профессионалов промышленности и нефтегазовой отрасли

Рассмотрим, каким образом энергетический переход повлияет на профессионалов нефтяной отрасли. К ним относятся инженеры-нефтяники (специалисты в области разработки месторождений, бурения и оборудования), экономисты, геологи, геофизики, геохимии, а также специалисты, занимающиеся ликвидацией объектов и рекультивацией окружающей среды. Для профессионалов нефтяной отрасли во всем мире вся эта нестабильность в энергетике является обескураживающей и создает проблемы, но проблемы также создают и новые возможности (Koning, 2021a, b, c).

Энергетический переход пользуется поддержкой инвестиционного сообщества как в Европе, так и в Северной Америке. Большинство энергетических компаний в Северной Америке торгуют на основных фондовых рынках, включая фондовые биржи Нью-Йорка и Торонто,

Канада. Как показано на рисунке 7, доходность с января 2014 года по январь 2021 года в «компаниях чистой энергии» значительно превысила доходность инвестиций в традиционные нефтегазовые компании.

Быстро развивающийся энергетический переход гарантирует, что разведка и разработка месторождений газа, как внутри страны, так и за рубежом, останутся активными, по крайней мере, в течение следующих двух десятилетий, чтобы удовлетворить глобальный спрос на газ, особенно в качестве переходного энергетического топлива. Опыт профессионалов нефтяной отрасли будет очень востребован, поскольку резко возрастет активность в области CCUS – улавливания, использования и хранения углерода и его соединений. Они также будут вовлечены в реализацию геотермальных проектов по всему миру. Многие инженеры-нефтяники обладают глубокими знаниями в области энергетики и могут легко переключиться на такую деятельность в области возобновляемой энергетики. Соответственно, профессионалы нефтяной отрасли будут продолжать участвовать в процессе перехода мирового сообщества к безуглеродному и устойчивому энергетическому будущему. Однако им также необходимо будет профессионально адаптироваться и принять новые технологии, которые будут развиваться вместе с энергетическим переходом.

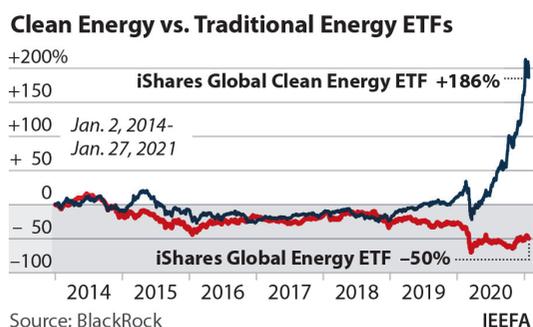


Рис. 7. Инвестиции фондового рынка в «чистую энергию» по сравнению с «традиционной энергией» с января 2014 года по январь 2021 года. Традиционная энергия будет включать крупные нефтегазовые компании, такие как американские ExxonMobil и Chevron, а также европейские компании, включая Royal Dutch Shell, BP и норвежская Equinor. Источник: BlackRock и the Institute for Energy Economics & Financial Analysis (IEEFA) (Кливленд, США).

Благодарности

Автор выражает благодарность редакции научно-технического журнала «Георесурсы» за внимание и возможность опубликовать данную статью. Автор выражает благодарность Жерару Крефту, основателю и бывшему управляющему директору компании EnergyWise (Арнем, Нидерланды) за конструктивные советы и комментарии к данной статье.

Литература

- 12th Annual World LNG Report (2021). International Gas Union, Barcelona, Spain.
- Conca J. (2021). The International Energy Agency's Bizarre Roadmap For Global Decarbonization. *Forbes*.
- Donovan C. (2020). Centre for Climate Finance and Investments. Imperial College, London.
- International Energy Agency (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- Koning T. (2021a). The Every-Changing Dynamics of the International Oil and Gas Industry. Online Event Series: Re-Energizing and Positioning Upstream Exploration in Southern Africa. European Association of Geoscientists and Engineers, Amsterdam, The Netherlands.
- Koning T. (2021b). The Energy Transition – Challenges and Opportunities. Presentation. Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, Canada.
- Koning T. (2021c). The Global Energy Transition – Challenges and Opportunities. Presentation. First International Petroleum Data Base Conference, Luanda, Angola, West Africa.
- Kreeft G. (2020). Ranking the Majors on Energy Transition. *Africa Oil + Gas Report*, 21(5).
- Morison R., Hurst L. (2021). The Race for Blue (and Green) Hydrogen: How Gas Giants are Vying to Stay Relevant. *Bloomberg*.
- Marsh, A., Quinson, T. (2021). Exxon's Loss Marks Turning Point for Socially Conscious Investors. *Calgary Herald*.
- Quebec Spurns \$9B LNG Project (2021). *Ottawa Citizen*.
- Reguly, E. (2021). Big Oil's bad day won't change much in the foreseeable future. *The Globe and Mail*.
- Russian Oil Giants Pen Carbon-Focused Pacts with Shell and Baker Hughes (2021). *Upstream magazine*.
- Tinker S. (2021). Critical Thinking for Equitable Energy. IPAA. <https://www.ipaa.org/events/industry-insights-webinar-031721/>
- Wacket, M., Piper, E., (2021). G7 Agrees to Terminate International Funding for Coal in Climate Push. *Reuters*.
- Whaley J. (2021). Increasing Energy While Decreasing Carbon, *GEOExPro magazine*, 18(2).
- Xu, C., Bell, L. (2021). Oil market recovery stays the course amid risks. *Oil & Gas Journal*, pp. 18–29.

Сведения об авторе

Тако Кёнинг – Старший геолог – Независимый консультант Калгари, Канада

Статья поступила в редакцию 28.07.2021;

Принята к публикации 03.08.2021; Опубликовано 30.08.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

The global energy transition: challenges and opportunities – a perspective from North America

T. Koning

Senior Geologist – Independent Energy Consultant, Calgary, Canada. e-mail: tako.koning@gmail.com

Abstract. The energy transition from fossil fuels to renewables is dominating the news in North America and other parts of the world. A decade ago, most people would have viewed global warming as an academic subject which did not impact themselves nor warrant serious concern. However, currently many parts of the world are experiencing record temperatures and related environmental impact such as the extensive forest fires being experienced in the western USA and Canada. Accordingly, governments worldwide recognize the need for future economic activity to be carbon-neutral or as is also termed carbon-zero. To achieve the goal of carbon-neutral economies by

2050 will be hugely challenging but economic opportunities will also arise in the major development of solar, wind and geothermal energy.

Keywords: Paris climate accord, carbon-neutral economies, renewable energies, carbon capture sequestration and storage

Recommended citation: Koning T. (2021). The global energy transition: challenges and opportunities – a perspective from North America. *Georesursy = Georesources*, 23(3), pp. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.8>

Manuscript received 28 July 2021;

Accepted 3 August 2021; Published 30 August 2021

ISSN 1608-5043 (Print)
ISSN 1608-5078 (Online)

Key title: «Georesursy»
Parallel title: «Georesources»

ГЕОРЕСУРСЫ

Ежеквартальный рецензируемый научно-технический журнал. Издается с 1999 года.
Главный редактор: Л.М. Ситдикова (Казанский федеральный университет)

Журнал включен/индексируется в:



Web of Science Core Collection
Emerging Sources Citation Index (ESCI)

Scopus



CAS (Chemical Abstracts Service) databases



GeoRef database



EBSCOhost™ databases



Directory of Open Access Journals (DOAJ)

Полнотекстовые электронные версии статей, публикуемых в журнале,
размещаются в открытом доступе на сайте журнала www.geors.ru.
Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License (CC BY 4.0).

Контакты:

Заместитель Главного редактора: Д.А. Христофорова

E-mail: mail@geors.ru

Тел: +7 (843) 239-05-30