

Климат и энергопереход: взаимодействие и взаимозависимость

Climate and energy transition: interaction and interdependence

Виталий БУШУЕВ
Главный научный сотрудник ОИВТ РАН,
д. т. н., генеральный директор ГУ ИЭС
e-mail: vital@guies.ru

Vitalii BUSHYEV
JIHT RAS, GU IES (Moscow, Russia),
Doctor of Technical Sciences
e-mail: vital@guies.ru

Дмитрий СОЛОВЬЕВ
Старший научный сотрудник ОИВТ РАН,
Институт океанологии РАН, к. ф.-м. н.
e-mail: solovev@guies.ru

Dmitry SOLOVYEV
JIHT RAS, Institute of Oceanology RAS (Moscow, Russia),
Candidate of Physical and Mathematical Sciences
e-mail: solovev@guies.ru

Количество климатических аномалий неизменно растет

Источник: miss-hohotyn007.livejournal.com



Аннотация. В статье рассмотрены вопросы развития энергетической инфраструктуры на фоне наблюдаемых в настоящее время и прогнозируемых в будущем аномальных климатических изменений. Рассматриваются два взаимовлияющих аспекта этой проблемы: прогноз климатической динамики и ее влияние на «зеленую» отрасль энергетики, выступающей в качестве основного драйвера энергоперехода. На основе методов нейросетевого прогнозирования исследована временная взаимосвязь между ростом аномалий глобальной температуры, концентрации углекислого газа в атмосфере и уровнем потребления первичной энергии, которая показывает, что наблюдаемые высокие темпы роста концентрации CO₂ могут определяться не только антропогенным воздействием, но и возможно другими, неэнергетическими факторами. Дана оценка рисков инвестиций в «зеленую» энергетику в условиях новых климатических вызовов, которые могут стать препятствием на пути декарбонизации энергетической отрасли.

Ключевые слова: энергетика, климат, энергопереход, ВИЭ, инвестиции, климатические вызовы.

Abstract. The article discusses the issues of the development of energy infrastructure against the background of the emervious climatic changes that are currently monitored and projected in the future. Two mutrating aspects of this problem were investigated: the climatic dynamics forecast and its influence on the «green» industry of energy serving as the main drive driver. Based on the methods of neural network forecasting, the temporary relationship between the growth of the global temperature anomalies, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere and the level of primary energy consumption, which shows that the observed high growth rates of CO₂ concentration can be determined not only by anthropogenic effects, but also by other, non-energy factors. An assessment of the risks of investment in Green Energy in conditions under conditions of new climate challenges, which can be an obstacle to the decarbonization of the energy industry. *Keywords:* power engineering, climate, energy transition, renewable, investment, climatic challenges.



**Глобальное потепление
влияет на весь мир,
в том числе на общество.
С ним связаны проблемы
обеспечения водой,
продовольствием
и энергией**

Введение

Среди основных драйверов в сфере государственной политики и развития новых технологий, в первую очередь, можно выделить стремление развитых стран к декарбонизации мировой экономики и их желание снизить свою зависимость от поставок энергоресурсов из-за рубежа [1].

Текущая динамика развития энергетического рынка меняет структуру потребления, смещая акценты от углеводородов к возобновляемой энергетике. Пандемийный 2020 год стал переломным на пути трансформации сознания энергопотребителей. Именно в период кризиса тренд на переход от ископаемых энергоресурсов в пользу ВИЭ приобрел устойчивость. Изменения в мировом энергобалансе будут продолжаться еще долгие годы. Они инициированы стратегическими планами реализации климатической программы Евросоюза, предложенные меры которой призваны сократить выбросы во всех сегментах европейской экономики, включая производство электроэнергии, автомобильный и жилищный сектора, а также судоходство, авиацию и сельское хозяйство. Целью этой программы по борьбе с изменением климата является сокращение к 2030 году выбросов CO₂ в Европейском союзе не менее чем на 55 % по сравнению с уровнями 1990-х гг. и до нулевого уровня к 2050 году. Это потребует полной перестройки энер-

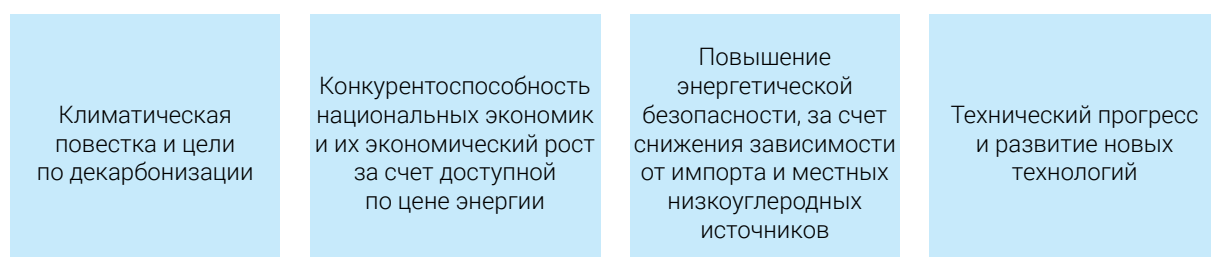


Рис. 1. Основные драйверы энергоперехода

гетики и экономики Евросоюза. Рассматривая вопросы развития энергетической инфраструктуры на фоне наблюдаемых в настоящее время аномальных климатических изменений следует подробнее остановиться на двух взаимовлияющих аспектах этой проблемы: прогнозу климатической динамики и ее влиянии на «зеленую» отрасль энергетики, выступающей в качестве основы энергоперехода и политики декарбонизации.

Климатические и природные аномалии как концептуальный фактор энергоперехода

Одним из важнейших природных факторов динамического развития нашей энергетической цивилизации является глобальный климатический режим, определяемый кривыми температурных колебаний [2]. Для оценки многолетних колебаний температуры рассчитываются температурные аномалии, которые представляют собой отклонение от средней или базовой температуры. Положительные аномалии показывают, что наблюдаемая температура была выше базовой линии, тогда как отрицательная аномалия указывает на то, что наблюдаемая температура была ниже базовой. Начиная с 80-х годов прошлого века, отклонение годовой температуры от средних значений для XX века было неизменно положительным. Температурные аномалии обычно более важны при изучении изменения климата, чем абсолютная температура. Это связано с тем, что при вычислении средних абсолютных температур такие факторы, как местоположение станции и высота над уровнем моря, могут

иметь решающее влияние на абсолютные температуры, но менее значимы при расчетах аномалий.

Изменение климата влияет на весь мир, в том числе на общество. С глобальным потеплением связаны проблемы обеспечения населения водой, продовольствием и энергией, проблемы здравоохранения, политические проблемы.

В связи с этим, для предотвращения возможных негативных последствий климатических изменений мировым сообществом в рамках определения целевых показателей Парижского соглашения по климату, ставилась задача удержать рост глобальной средней температуры намного ниже 2 °C и приложить усилия для ограничения роста температуры величиной 1,5 °C. В Парижском соглашении под глобальной средней температурой поверхности Земли (показана на рис. 2) понимается изменение среднемесячной температуры относительно периода 1850–1900 годов (°C). [3]

Согласно оценкам Института географии РАН зимой для Северного полушария тренды приземной температуры воздуха с учетом роста содержания парниковых

Только 30% современного роста температуры можно объяснить повышением содержания в атмосфере CO₂, метана, аэрозолей. То есть человек вносит значительный, но не основной вклад в потепление

Есть природные причины изменений концентрации CO₂: выделение его океанами и грунтами при нагревании, при дыхании живых организмов, при лесных пожарах, засухах, извержении вулканов и т. д.

газов и аэрозолей выше в среднем на 0,3 °C (летом примерно на 0,2 °C), чем в случае отсутствия такого роста [4]. При этом величина тренда составляет около 1 °C, то есть только примерно 30% современного роста температуры можно объяснить повышением содержания в атмосфере углекислого газа, метана, аэрозолей. Такие выводы доказывают, что человек вносит вклад в изменение климата, причем значительный, но не определяющий. Это подтверждается результатами нашего нейронного прогноза.

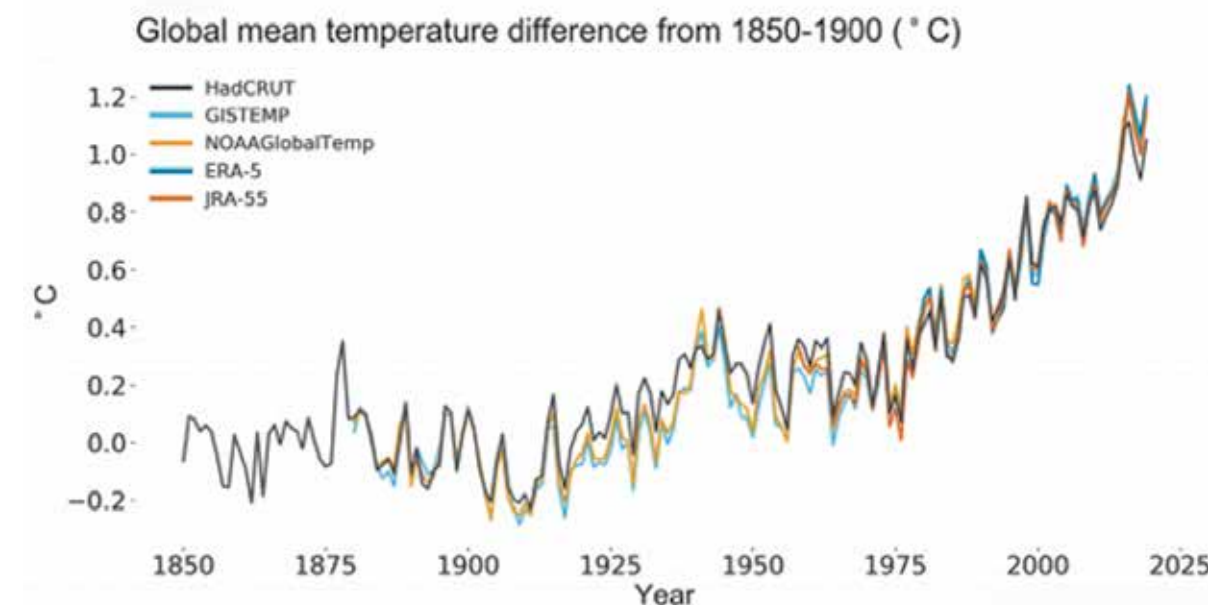
Для моделирования межгодового хода базовых климатических характеристик (в т. ч. аномалии температуры и темпы ро-

ста концентрации в атмосфере углекислого газа), были использованы искусственные нейронные сети (НС) – математические модели, позволяющие реализовать некоторые принципы искусственного интеллекта. Принцип работы искусственных нейронных сетей подобен принципу обработки сигналов в нейронах живых существ. Для прогнозирования аномалии осредненной температуры воздуха для Арктического региона был реализован нейросетевой алгоритм в программной среде STATISTICA Automated Neural Networks (Автоматизированные нейронные сети) на основе многослойной архитектуры нейронной сети с обратным распространением ошибки. Ряд значений моделируемого параметра был разделен на обучающую, тестирующую (тестовую) и контрольную выборки. На обучающей выборке проводилось обучение модели, на тестовой – проверка результата моделирования. На заключительном этапе экспертным путем отбиралась наилучшая из нескольких конструкций НС, выбранных программой на основе условия максимума обучения, описанного в работе.

На рис. 3 представлен нейронный прогноз изменения температурных аномалий (базовый период: 1979–2000 гг.) в глобальном масштабе Т (90°S – 90°N, 0°E – 360°E)

Рис. 2. Прогноз изменения глобальной средней температуры поверхности Земли (°C) по данным различных источников мониторинга.

Источник:
URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/climate-change/index.html>



и темпов роста глобальной концентрации CO_2 в атмосфере за период 1986–2036 гг. Фактические данные для построения прогноза изменения температурных аномалий включали в себя актуальные месячные данные аномалий T и темпов роста глобальной концентрации CO_2 , получены из архива реанализа NCEP/NCAR Reanalysis VI и архива статистических данных Our World in Data (OWID) of University of Oxford.

Из представленного на рис. 2 прогноза видно, что с 1986 года одновременно с наблюдаемым ростом аномалий глобальной приземной температуры воздуха, измерения, которые проводятся специалистами в разных странах, показывают такое же быстрое увеличение (примерно на треть) содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2) – наиболее долго сохраняющегося

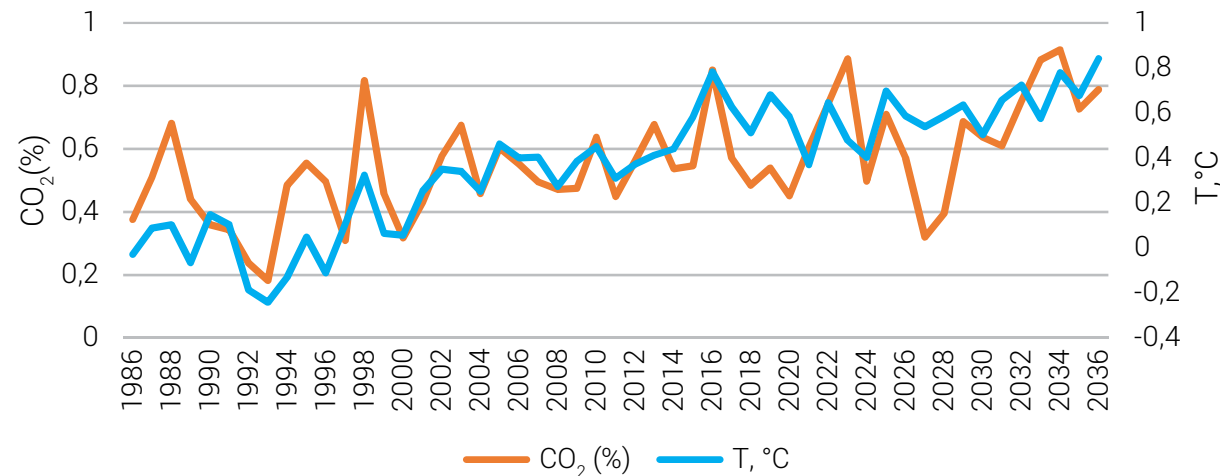


Рис. 3. Прогноз изменения концентрации CO_2 и аномалий глобальной температуры T ($^{\circ}\text{C}$) за период 1986–2036 гг.

Источники: нейронный прогноз на основе данных статистики реанализа NCEP/NCAR Reanalysis VI (ClimateReanalyzer.org) и OWID (ourworldindata.org).

в воздухе по сравнению с другими парниковыми газами. В наше время в атмосфере растет концентрация углерода, в том числе и того, который ранее входил в состав горючих полезных ископаемых, то есть в воздухе добавляется углекислый газ не только за счет естественных природных процессов, но и от сжигания топлива в процессе антропогенной деятельности. Графики изменений концентрации CO_2 и аномалий температуры T практически повторяют друг друга. Эта корреляция сама по себе не является доказательством того, что причиной потепления является увеличение содержания в атмосфере угле-

кислого газа. Это можно объяснить тем, что есть и природные причины изменений концентрации углекислого газа в атмосфере: выделение его океанами и грунтами при нагревании и поглощение при охлаждении, выбрасывание вулканами, поглощение при фотосинтезе растениями и некоторыми бактериями, выделение при дыхании живых организмов, при лесных пожарах, засухах, наводнениях и т. д. Из естественных причин наибольший вклад вносит Мировой океан. Теплая вода не может содержать в растворенном виде столько же углекислого газа, сколько холодная, поэтому при нагревании она отдает в атмосферу часть CO_2 . В доиндустриальные времена отмечались похожие на современные концентрации углекислого газа в атмосфере. Около 450 млн лет назад кон-

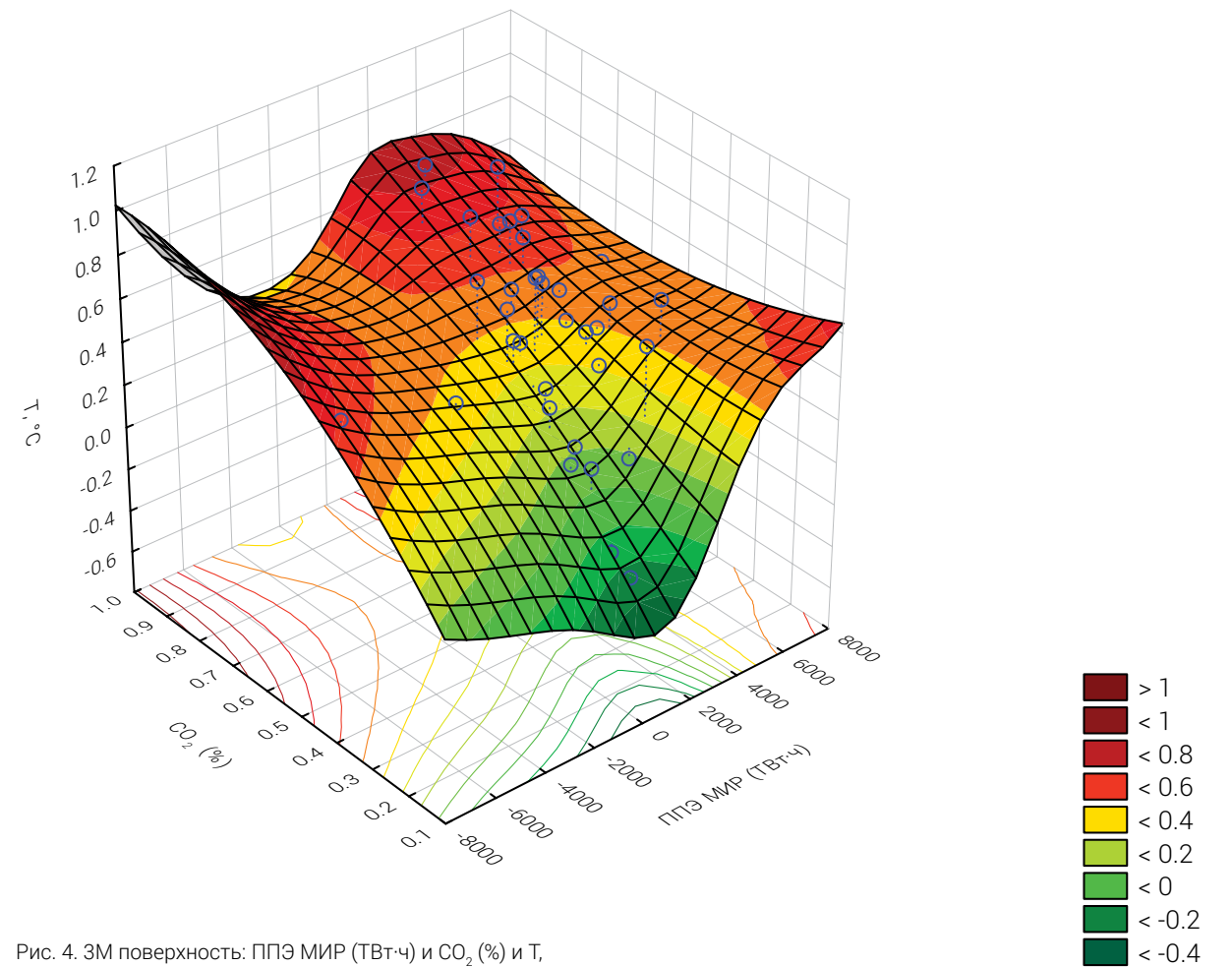


Рис. 4. 3М поверхность: ППЭ МИР (ТВт·ч) и CO_2 (%) и T , $^{\circ}\text{C}$, отражающая уровень корреляции между уровнями изменения концентрации CO_2 и аномалий температуры T и уровнем ППЭ за период 1986–2036 гг.

приходится на различные промышленные технологические циклы, связанные с производством цемента и пластика, окислением монооксида углерода, разведением сельскохозяйственных животных, а также интенсивным загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами. Большая часть остального роста содержания CO_2 связана с циклическими природными процессами, включая исторические периоды потепления климата, уничтожение растительности за счет стихийных бедствий (пожары, наводнения, засухи), извержения вулканов, жизнедеятельности организмов и растений, в том числе разложения различных органических элементов. При этом около половины выделяемого при человеческой деятельности CO_2 остается в атмосфере и не поглощается растениями и океанами. Насколько современное увеличение содержания CO_2 в атмосфере может

быть связано со сжиганием ископаемого топлива? В настоящее время ежегодно в различных промышленных технологиях выделяется около 7 млрд т углерода, что составляет приблизительно 1 % общего содержания CO_2 в атмосфере. Наблюдаемый сегодня рост концентрации CO_2 включает в себя около 30 % антропогенной эмиссии. Однако, интенсивность глобальной биохимической регенерации CO_2 составляет около 165 млрд т углерода/год, что в 23,5 раза больше интенсивности антропогенных выбросов. Таким образом, антропогенные выбросы CO_2 составляют только 4–5 % от всей его эмиссии с поверхности суши и океана.

Долгосрочный анализ ретроспективы и прогноз до 2036 г. показывает, что антропогенные выбросы от сжигания топлива будут составлять всего 8–10 % от общего объема выбросов. Таким образом даже

полный отказ от сжигания всего ископаемого топлива весьма мало повлияет на динамику прироста концентрации CO_2 в атмосфере Земли, и не изменит ее рост на снижение. Знания о процессах и обратных связях в климатической системе Земли по-прежнему не являются полными, поэтому пока нет однозначного ответа на вопрос, не компенсируется ли потепление из-за антропогенных выбросов парниковых газов изменениями в распределении водяных паров, облаков, функционированием биосферы или воздействием других климатических факторов. Также есть вероятность, что повышение концентрации углекислого газа, наоборот, может сдерживать



Добыча лития в Африке
Источник: russiancouncil.ru

нагревание приземного воздуха, внося охлаждающий эффект за счет усиления вертикальной циркуляции в атмосфере и более быстрого рассеивания энергии в космосе.

Анализ выполненного нейронного прогноза темпов роста концентрации CO_2 в атмосфере, а также роста аномалий глобальной T показывает, что они слабо коррелированы с колебаниями потребления первичной энергии (ППЭ МИР) (рис. 4). При этом коэффициент корреляции между временными рядами CO_2 , T , и ППЭ МИР составил 0,3 и 0,2, соответственно. В то же время имеет место хорошая корреляция между кривыми концентрации CO_2 и аномалий глобальной T , коэффициент которой равен 0,65. Поэтому, можно сделать

предположение, что глобальное потепление может быть связано, в том числе с увеличением концентрации CO_2 в атмосфере Земли, которое в свою очередь определяется и другими, неэнергетическими (не антропогенными) факторами. К ним обычно относят частоту повторяемости стихийных бедствий (пожары, наводнения и засухи), приводящих к росту концентрации CO_2 и возможно другие природно-космические процессы [5].

Стихийные бедствия и климатические аномалии, безусловно, могут стать серьезным препятствием для развития возобновляемой энергетики и оказывать негативное влияние на инвестиционный климат в этой сфере. Это подтверждает статистика роста количества зарегистрированных стихийных бедствий по типам и общего количества зарегистрированных опасных природных явлений, представленная на рис. 5 (а, б, в). На рис. 5 (г) показано общее число зарегистрированных в мире стихийных бедствий в любой данный год, которое включает в себя последствия засух, наводнений, экстремальных погодных условий, экстремальных температур, оползней, селей, лесных пожаров и вулканической активности.

Цена энергоперехода: риски инвестиций и климатические вызовы для ВИЭ

По данным Bloomberg, грядущий переход на возобновляемые источники энергии потребует до 173 трлн долларов инвестиций в течение 30 лет в новую энергетическую инфраструктуру, а также добычу металлов и другого сырья, необходимого для «зеленой» энергетики. Это огромные деньги и потенциально огромные прибыли, которые отразятся на богатых литием месторождениях в Чили и на заводах по производству поликремния в Китае. В этой связи для инвесторов представляет интерес потенциал роста цен на цветные и редкоземельные металлы, которые будут нужны для «зеленой» энергетики. В современных аккумуляторах, которые являются важным элементом энергетического оборудования ВИЭ и «умных» сетей, используется литий. Потребность в этом металле постоянно растет. По оценкам Statista, к 2030 году глобальный спрос на него вырастет в три раза, до уровня 1,8 млн тонн эквивалента карбо-

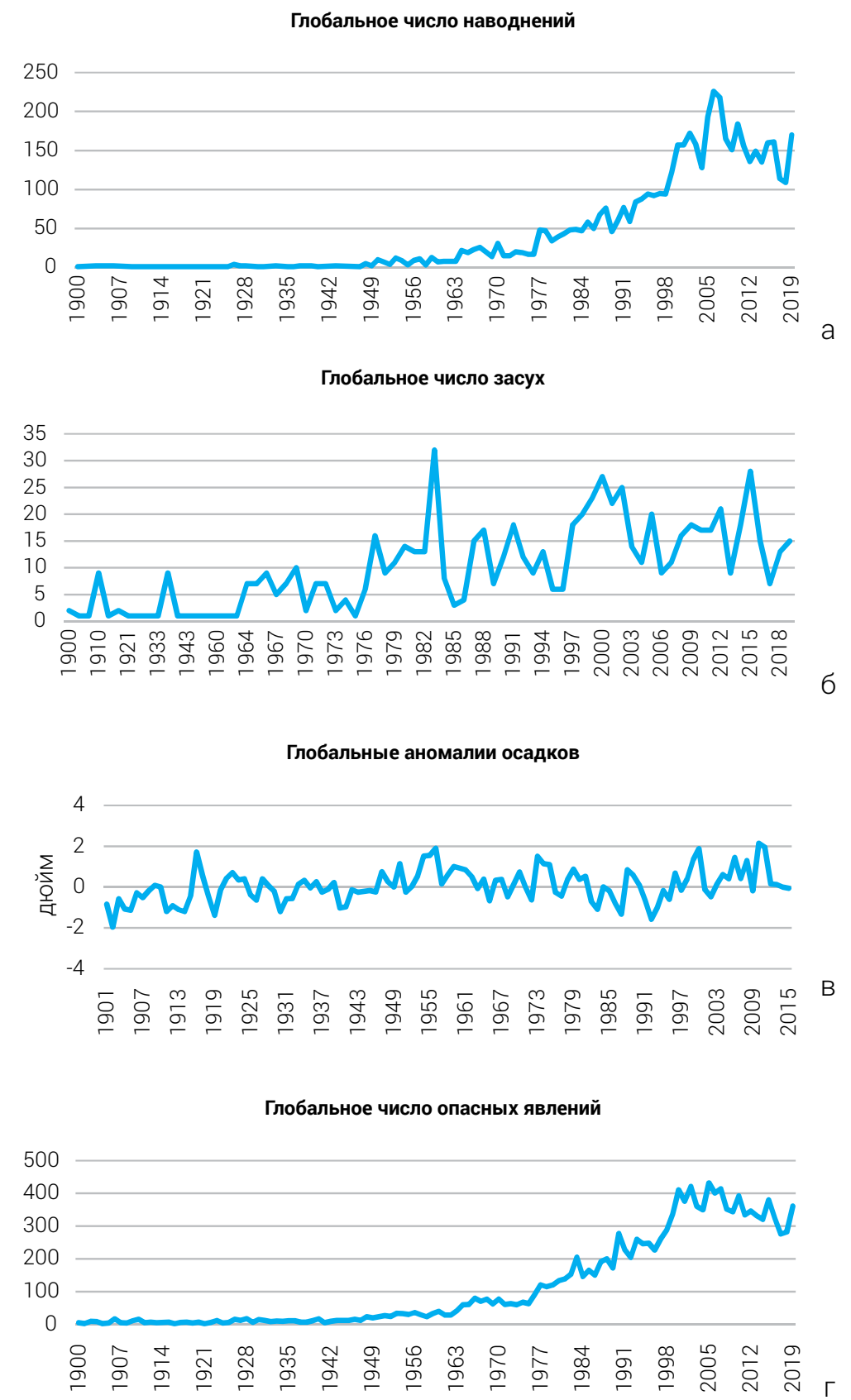
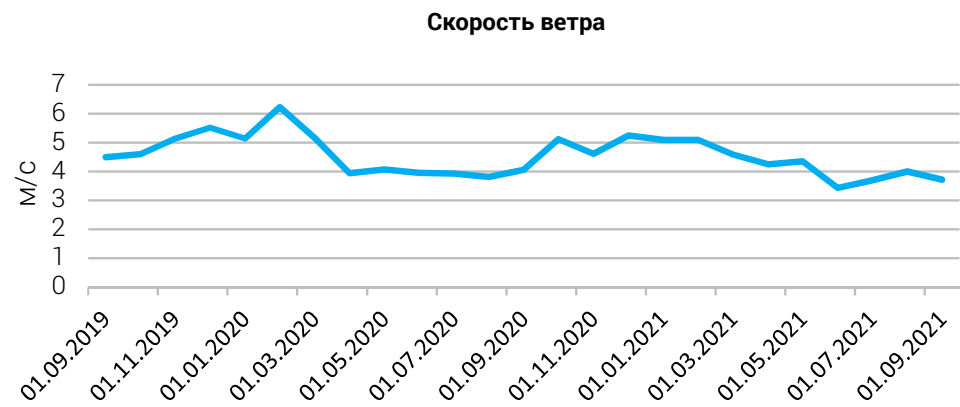


Рис. 5. Число аномальных наводнений (а), засух (б), уровень осадков (в) и общее количество опасных природных явлений (г)

Источник:
URL: public.emdat.be/data



а



б



в

Рис. 6. Средняя скорость ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности Земли (а) и сумма месячных осадков (мм) (б) в регионе Западной Европы (40°N – 58°N, 5°W – 15°E) (в)

Источник:
URL: [ClimateReanalyzer.org](https://climate.reanalyzer.org)

ната лития. Причем это будет происходить на фоне значительного роста мировых цен на литий. Вслед за литием вырастут цены и на кобальт и медь, которые тоже нужны для аккумуляторов. При этом медь также широко применяется в производстве различного электрооборудования ВИЭ, в частности ветряных генераторов и солнечных панелей. В настоящее время добыча лития сосредоточена всего в нескольких странах. Больше половины мировых запасов лития приходится на Аргентину, Боливию и Чили. Из-за пандемии сформировался огромный отложенный спрос на литий и другие редкоземельные металлы. Присутствует определенный фактор волатильности, который вполне может привести к снижению котировок. Но долгосрочный тренд никто не отменял, и потребность промышленности в этих редкоземельных металлах, конечно, будет постепенно нарастать.

Текущий год показал, что традиционные источники энергии еще могут взять реванш. Для этого есть несколько серьезных оснований, которые определяются, в том числе и рассмотренными выше прогнозами ожидаемых обострений в сфере климатических и природных аномалий. Минувшей зимой, например, в США штат Техас накрыли сильные морозы, и многие объекты «зеленой» энергетики просто не выдержали низких температур. Или другой пример: в Европе летом этого года стоял штиль. На рис. 6 (а) показана динамика изменения средней скорости ветра на высоте 10 м от поверхности Земли в регионе Западной Европы (см. рис. 6 (в)). С начала 2021 года наблюдается устойчивая тенденция снижения интенсивности средней скорости ветра на всей территории Евросоюза, минимум которой пришелся на июнь-июль 2021 года. Ветряные станции вырабатывали мало электричества, приходилось использовать газ и не только: даже уголь, казалось бы, самый грязный вид ископаемого топлива, снова пошел в ход. А осенью дефицит газа на спотовом рынке Европы привел к резкому скачку цен на него. И, соответственно, электричество тоже заметно подорожало. Одновременно, выяснилось, что производители солнечных батарей не могут серьезно нарастить их выпуск: не хватает сырья, в том числе поликремния, цены на который минувшим летом подскочили на 20 %.

Что касается аномально безветренной погоды, то она в первую очередь сказалась на работе ветроэнергетических станций

ЕС, размещенных в Северном море у побережья Великобритании, которые резко снизили выработку электроэнергии [6]–[8]. В меньшей степени падение выработки электричества было зафиксировано для ВЭС, расположенных на суше. В целом во втором квартале 2021 года ВЭС Евросоюза произвели на 22 % меньше энергии, чем годом ранее, несмотря на возведение сотен новых ветряных турбин. По данным аналитиков компании ICIS Energy, в настоящее время генераторы, установленные в Германии, обеспечивают в среднем 5 гигаватт в день, тогда как предыдущие годы этот показатель превышал в день 10 гигаватт. Энергетики и климатологи говорят об установившейся аномально безветренной погоде: полностью исчезают прежде постоянно дующие с моря ветра.

Такой природный феномен, связанный с отсутствием сильного ветра, уникален и наблюдается впервые за последние 22 года. От полного краха ветряную энергетику спасают временами набегавшие штормовые фронты, но и они длятся лишь по несколько дней. Таким образом, средняя скорость вращения ветряных турбин в ЕС снизилась до минимальных показателей за все время их существования. Такая аномалия связана с тем, что в разных местах планеты ее поверхность нагрета по-разному, поэтому воздух имеет разную температуру. А его температура связана с давлением и плотностью. Неоднородность нагрева порождает ветер. Наблюдаемое сейчас глобальное потепление, особенно в полярных областях, способствует общему снижению градиента атмосферного давления и температур, что влечет за собой ослабление ветровых потоков вдоль поверхности Земли. Для потребителей электроэнергии в ЕС ослабление ветров означает дополнительные траты из-за нового скачка цен на «зеленое» электричество и рост цен на углеводородные источники электрогенерации.

В предстоящий зимний период в ЕС также возможен рост числа осадков, который безусловно, отразится на работе солнечных электростанций, которые могут снизить выработку электроэнергии из-за уменьшения количества солнечных дней в году. На рис. 6(б) показан график суммы месячных осадков в регионе Западной Европы (см. рис. 6(в)) за последние 5 лет. Видно, что с середины 2019 года наблюдается тенденция к увеличению их интенсивности, особенно характерная для осенне-зимнего

периода 2019 и 2020 года. Глобальное потепление по-разному повлияет на выработку солнечных электростанций в разных частях мира. Изменение погодных условий может привести к увеличению поступления солнечной энергии в одних регионах из-за меньшего количества пасмурных дней, в то время как в других выработка может снизиться из-за увеличения облачности. Это объясняется тем, что глобальное потепление не только способствует снижению интенсивности ветровой циркуляции, но и приводит к росту числа осадков.

Начиная с 2017 года по данным NASA фиксируется резкое сокращение высотных облаков над тропическими лесами [9]. Эти облака задерживают в атмосфере тепло, но из-за глобального потепления таких облаков становится меньше. В результате в тропиках становится прохладнее, и, как следствие, там чаще идут дожди. Облака

Ветрогенераторы Energy Wind
Источник: pxhere.com



над тропическими лесами, в свою очередь, исчезают из глобальных сдвигов воздушных потоков, которые меняются из-за потепления. Вода превращается в водяной пар, который поднимается в атмосферу за счет тепла, которое в нем содержится. Но когда пар достигает холодных верхних слоев атмосферы, он конденсируется в жидкие капли или частицы льда, высвобождая тепло и нагревая атмосферу. Таким образом, по мере нагревания планеты количество осадков будет увеличиваться. Высотная облачность оказывает существенное воздействие на погоду и климат. Кристаллики, из которых состоят такие облака, способны ориентироваться в горизонтальной плоскости, параллельно земной поверхности. В результате на высотах 8–12 км образуется слой мельчайших плоских зеркал – их образуют плоские грани кристаллов. В дневное время эти зеркала отражают солнечную радиацию, и она возвращает некоторую часть энергии обратно в космос. Соответственно, до земной поверхности доходит меньше тепла. В ночное время, при отсутствии облаков нижнего яруса, тепловое излучение земной поверхности отражается перистыми облаками и теперь, часть энергии возвращается обратно к поверхности земли. Исследования влияния климатических изменений на выработку солнечных электростанций в мире показывают, что во многих нынешних солнечных регионах увеличится продолжительность пасмурной погоды, а в нынешних пасмурных регионах наоборот [10]. Однако, очищение атмосферы от транспортных и других энергетических выбросов, вызванных сжиганием угля, газа и нефти, теоретически может частично компенсировать снижение выработки от климатических изменений. Аналогичный эффект связывают с локдауном, вызванным COVID-19, который привел не только к сокращению загрязнения воздуха в крупных мегаполисах мира, но и к необычно высокому уровню солнечного света, достигшего солнечных панелей.

Заключение

Современные климатические вызовы и рост цен на редкоземельные металлы значительно повышают риски инвестиций в «зеленую» энергетику, а перенос сроков энергоперехода, или полной декарбонизации, становится все более вероятным. Например, если в Евросоюзе перенесут

сроки выхода на декарбонизацию с 2050 на 2060 год, это неминуемо обрушит стоимость акций компаний, которые занимаются возобновляемой энергетикой. На этом фоне малые компании, которые будут обеспечивать энергопереход, станут жертвой более крупных корпораций, которые сейчас переходят от нефтегазового бизнеса к чисто возобновляемой энергетике, что само по себе несет высокие стратегические риски инвестиций. Однако, очевидно, что те компании, которые взяли устойчивый курс на энергопереход, будут иметь высокий перспективный спрос на свою продукцию.

На этом фоне альтернативой инвестициям в редкие и цветные металлы могут стать инвестиции в переработку отходов «зеленой» энергетики, в том числе отслуживших свое аккумуляторов, которые сильно загрязняют окружающую среду. Оценить риски и доходность таких вложений пока сложно, но почти нет сомнений в том, что спрос на технологии утилизации тех же аккумуляторов будет только расти. Кроме того, дополнительные риски и расходы в сфере энергоперехода будут возникать в процессе обеспечения бесперебойной работы оборудования на фоне прогнозируемого обострения природно-климатических аномалий. Не защищены инвесторы и от рисков, связанных с ростом

числа стихийных бедствий. Как правило, при освоении новой территории под создание «зеленой» энергетической инфраструктуры учитываются статистические данные по прогнозу погодных аномалий, но фактически важные для работы оборудования ВИЭ характеристики, такие как температура воздуха, сила ветра, число солнечных дней и уровень осадков могут меняться вне всяких климатических прогнозов. В условиях рыночной экономики сложно искусственно заставить перейти с относительно дешевого углеводородного топлива на ВИЭ. Для этого нужны колоссальные субсидии и введение запретительных мер. В том случае, если цена на ископаемые энергоресурсы будет оставаться достаточно высокой, переход на ВИЭ будет проще обосновать, и внедрение «зеленой» энергетики будет происходить более органично. Таким образом, можно предположить, что «зеленый» переход станет и дальше поддерживать высокие цены на ископаемые углеводороды, а прогнозы о негативных последствиях для России из-за снижения спроса на углеводороды при декарбонизации ЕС не оправдаются.

Работа выполнена в рамках гос. заданий ОИВТ РАН и ИО РАН (№ 075-00460-21-00; № 0128-2021-0003) при финансовой поддержке Института исследований и экспертизы ВЭБ.РФ.

Использованные источники

1. Батенин В.М., Бушуев В.В., Воропай Н.И. Инновационная электроэнергетика – 21 // ИЦ «Энергия», 2017. 584 с.
2. Бушуев В.В., Зайченко В.М. Энергетика геотермии // Региональная энергетика и энергосбережение. № 3, 2021. С. 50–53.
3. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner H.-O., Roberts D., Skea J., Shukla P.R., Pirani A., Moufouma-Okia W., Péan C., Pidcock R., others. Global warming of 1.5 C // An IPCC Special Report. 2018. (1). С. 1–9.
4. Климатологи Института географии РАН: «Рост температуры зимой в Северном полушарии примерно на 30% вызван повышением содержания в атмосфере парниковых газов и аэрозольей» // Институт географии РАН [Электронный ресурс]. 15.01.2021. URL: <http://www.igras.ru/news/2723> (дата обращения: 25.01.2021).
5. Klimenko V., Klimenko A., Tereshin A., Mikushina O. Energy and natural climate factors: if there is a chance to stop global warming? // Энергетическая политика. № 4, 2021. С. 12–29. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_4158_12.
6. Кулемякин Д. Отсутствие ветров привело к росту стоимости электроэнергии в Европе // Российская газета [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://rg.ru/2021/09/14/otsutstvie-vetrov-privelo-k-rostu-stoimosti-elektroenergii-v-evrope.html> (дата обращения: 11.10.2021).
7. Morison R., Shiryayevskaya A. U.K. Power Surges to Record 400 Pounds as Wind Fails to Blow - Bloomberg [Электронный ресурс]. 13.09.2021. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-09-13/u-k-power-prices-hit-record-as-outages-low-winds-cut-supply> (дата обращения: 12.10.2021).
8. Akhtar N., Geyer B., Rockel B., Sommer P.S., Schrum C. Accelerating deployment of offshore wind energy alter wind climate and reduce future power generation potentials // Scientific Reports 2021 11:1. № 1(11), 2021. P. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-021-91283-3.
9. Su H., Jiang J.H., Neelin J.D., Shen T.J., Zhai C., Yue Q., Wang Z., Huang L., Choi Y.-S., Stephens G.L., Yung Y.L. Tightening of tropical ascent and high clouds key to precipitation change in a warmer climate // Nature Communications. № 1(8), 2017. P. 15771. DOI: 10.1038/ncomms15771.
10. Feron S., Cordero R.R., Damiani A., Jackson R.B. Climate change extremes and photovoltaic power output // Nature Sustainability. № 3(4), 2021. С. 270–276. DOI: 10.1038/s41893-020-00643-w.