

Supported by:



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation,  
Nuclear Safety and Consumer Protection



INTERNATIONAL  
CLIMATE  
INITIATIVE



ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВОДОЙ,  
ЭНЕРГИЕЙ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕМ  
Системные решения для климатически устойчивой Центральной Азии

based on a decision of  
the German Bundestag

# ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА:

## Прогнозы ученых и методы адаптации



**НИЦ МКВК**

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной  
водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

Ташкент 2024

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

# **Изменение климата:** **Прогнозы ученых и методы адаптации**

Ташкент 2024

Подготовлено и издано при финансовой поддержке проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии», реализуемого ОЭСР, НИЦ МКВК и ЕЭК ООН за счет средств Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты потребителей Германии (BMUV) в рамках Международной климатической инициативы (IKI)

## Содержание

<b>Сценарии и прогнозы .....</b>	<b>5</b>
Рекордная жара заканчивается. Ученые прогнозируют снижение глобальной температуры .....	5
Климат Земли достигнет точки невозврата .....	8
Еще одна угроза. Попытки спасти Землю от закипания могут обернуться новой катастрофой.....	9
Ученые описали худший, но реальный сценарий будущего Земли .....	11
Климатические изменения угрожают разрушить тысячи американских плотин.....	12
Прогнозы изменения климата в XXI веке .....	13
Готовимся к будущему с экстремальной жарой .....	20
<b>Факты и реалии .....</b>	<b>24</b>
На Земле целый год температура на 1,5°C выше, чем в доиндустриальную эпоху .....	24
Ученые обнаружили перемещение лесов в более холодные и влажные регионы .....	27
Изменение климата ведет к увеличению продолжительности дня, – ученые .....	28
Вырубки тропиков перечеркнули две трети поглощения углерода мировыми лесами.....	29
Истощение грунтовых вод затронуло половину зависимых экосистем .....	31
Накопление углерода в растительном покрове недооценили вдвое.....	33
Удобрение полей замедляет глобальное потепление, посчитали ученые.....	36
Выбросы метана достигли своего максимума .....	37
Невиданные структуры обнаружили подо льдом Антарктиды.....	38

Влияние потребления мяса на климат: обзор восьми ключевых исследований .....	40
<b>Методы и способы адаптации к изменению климата .....</b>	<b>45</b>
Внесение биоугля в почву назвали эффективной климатической практикой .....	45
Ученые предлагают построить барьеры вокруг самых уязвимых ледников мира .....	46
Ученые работают над отчаянным планом по «обратной заморозке» Арктики .....	49
Стартап похоронит 100 тонн углерода на глубине 1 км под землей .....	50
Модель прогноза погоды NeuralGCM позволит тысячекратно сэкономить вычислительные мощности.....	51
Как города адаптируются к волнам тепла с помощью инновационных решений .....	52
<b>Климат и здоровье.....</b>	<b>56</b>
Изменения климата подтолкнули ученых к изучению температуры предела выживания человеческого тела.....	56

## Сценарии и прогнозы

### Рекордная жара заканчивается. Ученые прогнозируют снижение глобальной температуры<sup>1</sup>

Турецкий ученый-климатолог заявил, что с начала 2024 года 127 дней из 182 были зафиксированы как самые жаркие. Дальше, по его прогнозам, температурных рекордов не будет, передает EastFruit.

С окончанием влияния Эль-Ниньо и постепенным ростом влияния Ла-Нинья вероятность рекордных температур в последние 6 месяцев 2024 года ниже по сравнению с первыми 6 месяцами. Об этом в беседе с «Анадолу» сказал директор Центра изучения изменения климата и политики при Университете Богазичи Левент Курназ.

По данным Службы изменения климата Copernicus Европейского Союза, в июне текущего года средняя глобальная температура составила 16,66 градуса, что на 0,67 градуса выше среднего показателя за 1991-2020 годы и на 0,14 градуса выше предыдущего самого жаркого июня, зафиксированного в 2023 году.

В июне температурный рекорд был побит 13 месяцев подряд, а средняя глобальная температура за последние 12 месяцев (июль 2023 г. – июнь 2024 г.) достигла самого высокого уровня за всю историю наблюдений, превысив средний показатель за 1991–2020 гг. на 0,76 градуса и показатель доиндустриального уровня 1850-1900 годов на 1,64 градуса.

Курназ сообщил, что с начала 2024 года 127 дней из 182 были зафиксированы как самые жаркие.

Он отметил, что первая половина года была самыми жаркими шестью месяцами за всю историю мира.

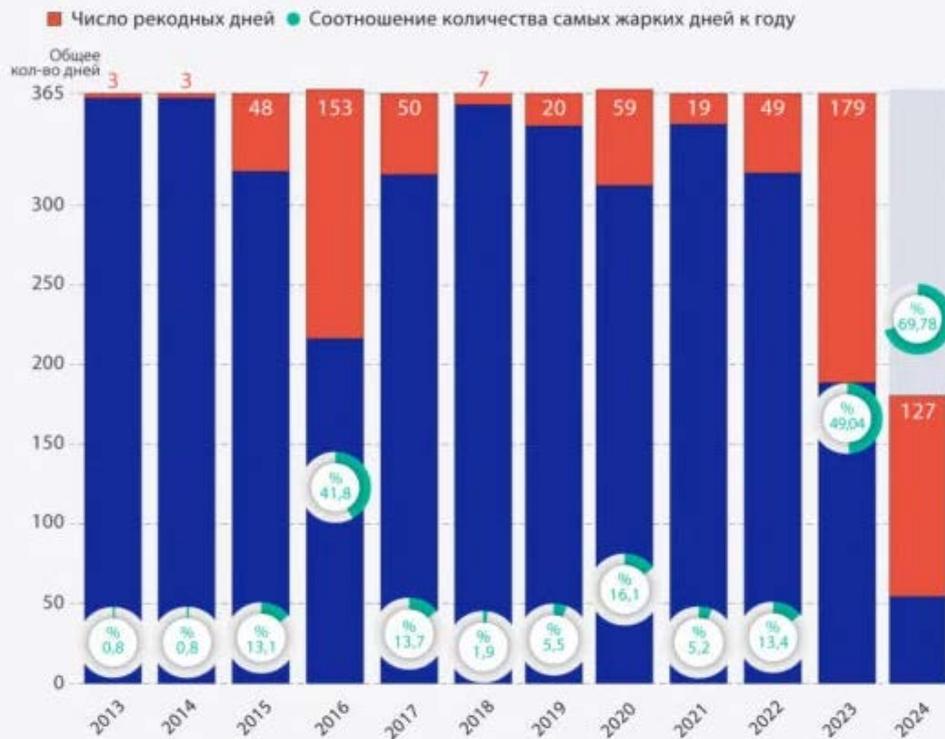
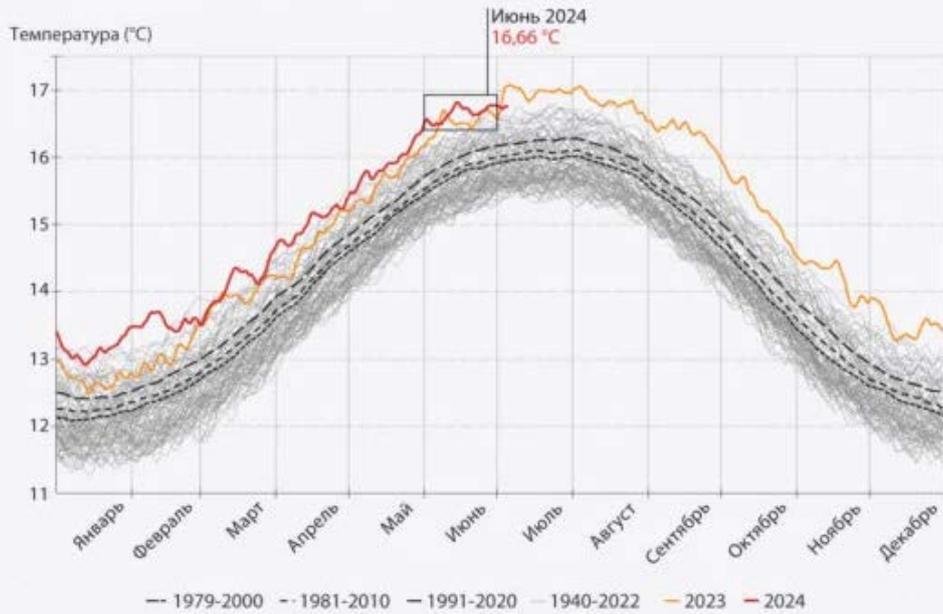
---

<sup>1</sup> Источник: <https://east-fruit.com/novosti/rekordnaya-zhara-zakanchivaetsya-uchenye-prognoziruyut-snizhenie-globalnoy-temperatury/> Опубликовано 24.07.2024

## После самых жарких первых 6 месяцев прогнозируется снижение глобальной температуры

С окончанием влияния Эль-Ниньо и постепенным ростом влияния Ла-Нинья вероятность рекордных температур в последние 6 месяцев 2024 года ниже по сравнению с первыми 6 месяцами

- Июнь 2024 года был зафиксирован как самый жаркий июнь со средней глобальной температурой 16,66 градусов
- Каждый из последних 13 месяцев побил рекорд самого жаркого месяца
- 127 из 182 дней 2024 года были зафиксированы как самые жаркие дни



«По сравнению со средним показателем за 1970-2000 годы, первые шесть месяцев 2024 года были на 0,9 градуса теплее, и каждый из последних 13 месяцев, которые мы пережили, побил рекорд самого жаркого месяца. Если сравнивать первые 6 месяцев, то предыдущий рекорд был в 2016 году, а 2024 год превысил 2016 год на 0,19 градуса», — разъяснил Курназ.

По его словам, из-за изменения климата средняя температура в мире увеличивается не линейно, а больше или меньше, чем ожидалось, из-за многих явлений, происходящих в атмосфере.

Курназ поясняет, что Эль-Ниньо, действие которого закончилось в начале июля, напрямую связано с температурными рекордами последних 13 месяцев.

«По состоянию на начало июля эффект Эль-Ниньо закончился, и мы медленно переходим к Ла-Нинье, поэтому в последующие месяцы не будут продолжаться рекорды, побитые за последние 13 месяцев. Несмотря на то, что с этого момента мы снова увидим жаркие времена, мы не сможем слишком часто использовать слово «рекордная температура», — отметил он.

Курназ предполагает, что лето 2024 года может стать вторым или третьим самым жарким летом.

Курназ заявил, что пока рано делать прогноз на весь 2024 год, однако он предупредил, что страны Средиземноморского бассейна, включая Турцию, сильно пострадают от изменения климата, температуры достигнут уровня, близкого к пустынному, количество осадков значительно уменьшится, а засушливые дни увеличатся, ожидается внезапное и сильное увеличение дождей.

## Климат Земли достигнет точки невозврата<sup>2</sup>

Ученые Института геофизики и метеорологии Кельнского университета и Центра океанических исследований имени Гельмгольца (Германия) предсказали, что в ближайшие десятилетия климатом Земли может быть достигнута точка невозврата. Результаты исследования опубликованы в журнале *Geophysical Research Letters*.

Система Эль-Ниньо — Южное колебание (ЭНЮК) — это климатическое явление, при котором тепло, выделяемое в некоторых частях океана в атмосферу, приводит к значительным изменениям в количестве осадков и температуре. Оно может повысить осадки на западном побережье Северной и Южной Америки и вызвать засуху в Канаде и Африке. В последние годы метеорологи заметили, что ЭНЮК становятся все более экстремальными.

Чтобы понять, может ли глобальное потепление увеличить частоту этих экстремальных явлений, исследователи собрали исторические данные и данные из других исследований о влиянии повышения глобальной температуры. Эти данные были введены в модель CESM1 и запущены в различных сценариях повышения температуры. Оценки показали, что к 2100 году температура может повыситься на 2,9 градуса Цельсия, если выбросы парниковых газов не будут снижены.

Результаты модели показали, что если температура продолжит расти до 3,7 градуса Цельсия после 2100 года, может быть достигнута точка невозврата, когда практически все события ЭНЮК будут экстремальными. Это означает, что даже если бы человечество смогло остановить изменение климата, потребуются столетия, чтобы погода вернулась к «нормальному» состоянию.

Модель также предсказала, что экстремальные события ЭНЮК будут происходить чаще, возможно, каждые четыре года. Среди других изменений называется смещение Гольфстрима на юг, что приведет к значительному уменьшению осадков в Канаде и северных частях США и увеличению осадков в южных частях США.

---

<sup>2</sup> Источник: <https://centralasia.media/news:2133746> Опубликовано 20.06.2024

## **Еще одна угроза. Попытки спасти Землю от закипания могут обернуться новой катастрофой<sup>3</sup>**

Исследователи предупредили, что геоинженерия не решит проблему изменения климата, а создаст больше проблем, чем мы считали ранее.

Ученые больше не пугают климатическим кризисом, который в будущем может обрушиться на планету, а прямо заявляют — он уже здесь. В результате мир столкнулся с волнами невероятной жары и засухи, а сезон ураганов в Атлантике вышел из-под контроля — старт ознаменовался рекордным штормом, катастрофично быстро переросшим в ураган высшей категории, пишет IFLScience.

В поисках решения проблемы и замедления закипания планеты ученые рассматривают разные варианты и одним из них является геоинженерия. Например, некоторые исследователи рассматривают возможность введения крохотных частиц в земную атмосферу, чтобы увеличить способность облаков отражать солнечную радиацию. Другой метод предполагает возведение «штор» вокруг ледяных щитов Земли, чтобы замедлить их таяние и не допустить исчезновения.

И все же, в новом докладе ООН говорится о том, что некоторые усилия по борьбе с последствиями изменения климата, в том числе геоинженерия, могут повлечь за собой дополнительные риски. Исследователи заявили, что в 21 веке система Земли является чрезвычайно взаимосвязанной и хрупкой, а потому одного неверного решения достаточно, чтобы вывести ее из строя.

В своем докладе исследователи призывают мир задуматься и отреагировать на различные возникающие проблемы, способные подорвать благополучие Земли. В частности ученые предлагают изучить 8 основных изменений в мире, в том числе:

- искусственный интеллект;
- рост дезинформации;
- принудительное перемещение людей;
- геоинженерия;
- усиление конкуренции в борьбе за ресурсы и другое.

---

<sup>3</sup> Источник: <https://focus.ua/technologies/658767-eshche-odna-ugroza-popytki-spasti-zemlyu-ot-zakipaniya-mogut-obernutsya-novoy-katastrofoy> Опубликовано 20.07.2024

Отдельной главой ученые призывают обратить внимание на внедрение геоинженерных экспериментов, которые могут оказаться более вредными в долгосрочной перспективе, чем мы предполагали ранее. В частности ученые обратили внимание на проект осветления морских облаков, в котором используется морская соль.

Несмотря на то, что метод может показаться многообещающим, ученые опасаются, поскольку его локальное использование способно изменить погодные условия и в других частях планеты. В то же время, нет гарантии, что он поможет решить основные проблемы, приводящие к изменению климата.

Компенсация выбросов углерода также является серьезной проблемой. Это широко используемая тактика, при которой отдельные лица, компании или правительства пытаются свести на нет выбросы от ископаемого топлива, финансируя эквивалентные методы сокращения или удаления выбросов в других местах. Подобные методы предполагают посадку деревьев или восстановление болотных угодий. Однако исследования показывают, что многие из этих методов на самом деле связаны с рядом проблем и сомнительных действий, чья эффективность не доказана.

В результате ученые призывают с осторожностью внедрять методы геоинженерии, в особенности перед лицом тройного планетарного кризиса, связанного с изменением климата, утратой биоразнообразия и среды обитания, а также загрязнением отходами.

Вместо этого ученые призывают прогнозировать будущее Земли, опираясь на опыт и мнение людей из разных сообществ. Скептики считают, что в этом нет никакого смысла, но ученые уверены, что проверка всех фактов и прогнозирование климата Земли в будущем, а также сокращение парниковых выбросов и добычи ископаемого топлива, на самом деле, будут более эффективными.

## **Ученые описали худший, но реальный сценарий будущего Земли<sup>4</sup>**

Новое исследование показало, что план удержать глобальное потепление на уровне 1,5°C провалился. К концу века мир может потеплеть в 2,5 раза сильнее этого предела.

Последние 13 месяцев мы часто превышали порог в 1,5°C, установленный Парижским соглашением. Ученые теперь полагают, что в будущем климатические явления, такие как Эль-Ниньо, станут более экстремальными. По данным ООН, такие явления могут стать обычным явлением. Например, западное побережье Южной Америки будет страдать от сильных дождей, вызывающих наводнения и оползни, в то время как западная часть Тихого океана, включая Индонезию и Австралию, будет сталкиваться с засухами.

Исследователи считают, что при нынешнем уровне выбросов парниковых газов мир может потеплеть на 2,9°C к концу века. При этом нагревании до 3,7°C 90% Эль-Ниньо станут настолько сильными, как знаменитое явление 1997-1998 годов, которое привело к более чем 20 000 смертей и нанесло ущерб на миллиарды долларов.

Тобиас Байр, ведущий автор исследования, предупреждает, что если каждое Эль-Ниньо станет экстремальным, последствия для общества и экономики будут огромными. Влияние изменения климата на циклы Эль-Ниньо и Ла-Нинья вызывает споры. Некоторые ранние модели предполагали, что потепление приведет к постоянному состоянию Эль-Ниньо, ослабляющему пассаты и согревающему воды восточной части Тихого океана.

Океанское потепление неизбежно повлияет на климат и погоду, так как тепло из воды перейдет в атмосферу, увеличивая среднюю глобальную температуру.

Однако не все климатические модели согласны с этими выводами. Байр и его коллеги использовали модель, которая точно отображает циклы Эль-Ниньо/Ла-Нинья. Их исследования показывают, что потепление вызывает более сильные и частые Эль-Ниньо, а не постоянное состояние этого явления.

---

<sup>4</sup> Источник: <https://hightech.fm/2024/07/13/sad-future> Опубликовано 13.07.2024

Текущая модель предсказывает 8-9 экстремальных Эль-Ниньо за столетие. При потеплении на 3,7°C их количество может возрасти до 26 за столетие, и они станут более продолжительными. Ученые отмечают, что 90,4% этих явлений будут экстремальными по нынешним стандартам.

Результаты исследования опубликованы в журнале *Geophysical Research Letters*.

## **Климатические изменения угрожают разрушить тысячи американских плотин<sup>5</sup>**

Инцидент с плотиной Рапидан в Миннесоте в июне этого года привлек внимание к серьезной проблеме стареющей инфраструктуры плотин в США. Эта ситуация наглядно демонстрирует, как изменение климата усугубляет риски, связанные с экстремальными погодными явлениями.

Согласно анализу *Inside Climate News*, многие плотины в верхнем Среднем Западе находятся в аналогичном или даже худшем состоянии. Регион столкнулся с увеличением числа экстремальных погодных явлений, включая рекордные наводнения.

В США насчитывается около 92 000 плотин, многие из которых испытывают возрастающую нагрузку из-за климатических изменений. Пятая национальная оценка климата отмечает значительное увеличение годовых осадков в Среднем Западе, что повышает риск разрушения плотин. С 2018 года в регионе зафиксировано около 30 случаев разрушения или близких к разрушению ситуаций с плотинами.

Национальный реестр плотин классифицирует плотину Рапидан как объект со “значительным” потенциалом опасности и в “плохом” состоянии. Подобная классификация применима к тысячам плотин по всей стране, причем около 4100 плотин отмечены как находящиеся в плохом или неудовлетворительном состоянии.

Власти штатов и федеральное правительство подчеркивают необходимость решения проблемы уязвимости стареющих плотин. Многим из них более 60 лет, и накопление осадочных пород усугубляет риски. Ре-

---

<sup>5</sup> Источник: <https://newsworldcars.com/news-59676836.html> Опубликовано 13.07.2024

монт, замена или демонтаж этих плотин становится насущной необходимостью для предотвращения потенциальных катастроф.

Несмотря на сложности, связанные с высокими затратами и экологическими проблемами, предпринимаются усилия по повышению безопасности плотин. Выделение значительных средств через Закон об инвестициях в инфраструктуру и рабочих местах подчеркивает стремление укрепить инфраструктуру плотин страны перед лицом растущих угроз изменения климата.

## Прогнозы изменения климата в XXI веке<sup>6</sup>

Оценка вероятных будущих изменений климата является одной из важнейших задач не только климатологии, но и всей современной науки. А за результатами подобных исследований следит огромное количество людей - всех тех, кого беспокоит благополучие своих детей и последующих поколений. Сегодня в рубрике «Мнения» об исследованиях климата при поддержке Российского научного фонда рассказывает доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института вычислительной математики им. Г.И. Марчука Евгений Михайлович Володин. Он вместе с коллегами по ИВМ РАН В.В. Брагиной, А.Ю. Черненковым и М.А. Тарасевич занимается моделированием последствий антропогенных воздействий на климат Земли.

### Виды антропогенного воздействия на климат

Если рассматривать ожидаемые изменения климата в XXI веке, то основной вероятной причиной изменений являются воздействия человека на климатическую систему. Эти воздействия можно условно разделить на несколько групп.

**Первая** — выбросы парниковых газов. Парниковыми называются газы, которые поглощают излучение в инфракрасном диапазоне сильнее, чем в видимом. Их концентрация растет вследствие деятельности человека, что усиливает парниковый эффект. Это в первую очередь углекислый

---

<sup>6</sup> Источник: <https://hightech.fm/2024/07/12/climate-change-modelling> Опубликовано 12.07.2024

газ и метан, а также закись азота, озон, хлорфторуглероды. Общепринятой мерой увеличения парникового эффекта считается радиационное воздействие вследствие роста концентрации каждого из газов. Так, радиационное воздействие от увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  к 2019 году по сравнению с доиндустриальным уровнем составляет примерно  $2,16 \text{ Вт/м}^2$ . Это означает, что в атмосфере появляется дополнительный источник тепла, который имеет такую мощность. Вклад  $\text{CH}_4$  составляет  $0,54 \text{ Вт/м}^2$ , озона —  $0,47 \text{ Вт/м}^2$ , закиси азота —  $0,21 \text{ Вт/м}^2$ , остальных парниковых газов суммарно — около  $0,4 \text{ Вт/м}^2$ . Оценки взяты из 6-го Оценочного доклада Международной группы экспертов по изменению климата (6-й ОД МГЭИК, Т.1). И в будущем, вероятно, рост парникового эффекта будет связан в первую очередь с ростом концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_3$ , а также  $\text{N}_2\text{O}$ . Поэтому для прогноза изменений климата необходимо оценить концентрации в атмосфере этих газов в будущем.

**Вторая группа воздействий** — это антропогенный рост концентрации аэрозолей, прежде всего сульфатов, которые образуются после сжигания серосодержащего топлива, например, каменного угля. Растет в атмосфере также концентрация черного углерода (сажи) и органических аэрозолей. Аэрозоли более интенсивно поглощают солнечное излучение, а с инфракрасным взаимодействуют меньше, поэтому они, как правило, охлаждают климатическую систему. Их радиационное воздействие оценивается примерно в  $-0,2 \text{ Вт/м}^2$ . Кроме того, аэрозоли являются ядрами конденсации при формировании облаков, при больших концентрациях аэрозолей облака могут иметь меньший размер капель, образование выпадающих вниз крупных капель будет идти медленнее, и поэтому такие облака будут отражать обратно в космос больше солнечного излучения. Радиационное воздействие такого — непрямого — эффекта аэрозолей оценивается в интервале от  $-0,5$  до  $-1,5 \text{ Вт/м}^2$ . Такое воздействие частично компенсирует парниковый эффект.

Наконец, третий тип воздействия — это изменения на самой поверхности Земли в результате деятельности человека. Вместо лесов появляются поля, сады и города, осушаются болота или, наоборот, вместо пустыни появляются участки орошаемого земледелия. Суммарное воздействие от этого оценивается примерно в  $-0,2 \text{ Вт/м}^2$ , однако локально эффекты могут быть гораздо больше, причем как отрицательного, так и положительного характера.

### **Сценарии воздействия человека на климат**

Чтобы получить прогноз изменений климата, надо сначала разработать сценарий эмиссии человеком парниковых газов, аэрозолей, а также

землепользования. Мировое научное сообщество работает в этом направлении на основе некоторых предположений о путях развития человечества. В результате появляются различные сценарии выбросов парниковых газов, аэрозолей и землепользования, подразумевающие различную интенсивность использования природных ресурсов и различную скорость перехода на неуглеводородные источники энергии. Такие сценарии обновляются каждые 7-8 лет. Последняя группа сценариев описана в работе Meinhausen et al., (2020) и имеет общее сокращенное название SSP (Shared Socio-economic Pathways). Эта группа подразумевает 5 возможных путей развития человечества:

- Устойчивость (sustainability)
- Серединный путь (middle of the road)
- Региональное соперничество (regional rivalry)
- Неравенство (inequality)
- Развитие на основе ископаемого топлива (fossil fuel development)

Внутри каждого пути рассматриваются несколько различных сценариев, так что всего получается несколько десятков сценариев. Затем с помощью моделей, учитывающих реакции океана, наземных экосистем, вечной мерзлоты и других компонент климатической системы по заданным эмиссиям парниковых газов рассчитываются концентрации газов в атмосфере. Сейчас примерно половина антропогенных эмиссий  $\text{CO}_2$  остается в атмосфере, а оставшаяся половина поглощается океаном и наземными экосистемами. В будущем эта пропорция может меняться в зависимости от сценария.

Отметим также, что приборами хорошо измеряется лишь количество сжигаемого человечеством углерода и содержание углерода в атмосфере, несколько хуже — содержание в океане и совсем плохо — в наземных экосистемах. Поэтому основным путем определения количества углерода в наземных экосистемах и пропорций распределения  $\text{CO}_2$  между компонентами климатической системы является моделирование. Процесс пересчета эмиссий в концентрации также описан в работе Meinhausen et al. (2020). В краткое название каждого из сценариев входит два числа: путь развития человечества и величина антропогенного радиационного воздействия согласно этому сценарию в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . Например, в сценарии SSP2-4.5 рассматривается путь развития человечества 2, и радиационное воздействие в 2100 году равно  $4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Чем больше величина радиационного воздействия, тем больше концентрации парниковых газов и тем большего повышения температуры можно ожидать.

Для примера рассмотрим изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в 2015–2100 гг. при четырех наиболее употребительных сценариях: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 (рис. 1). Доиндустриальная концентрация  $\text{CO}_2$  составляет около 280 ppm, современная — около 420 ppm. В будущем при различных предположениях о путях развития человечества концентрация  $\text{CO}_2$  может изменяться в широких пределах и составляет примерно 450 ppm при сценарии SSP1-2.6, 600 ppm для SSP2-4.5, 870 ppm для SSP3-7.0 и 1130 ppm для SSP5-8.5.

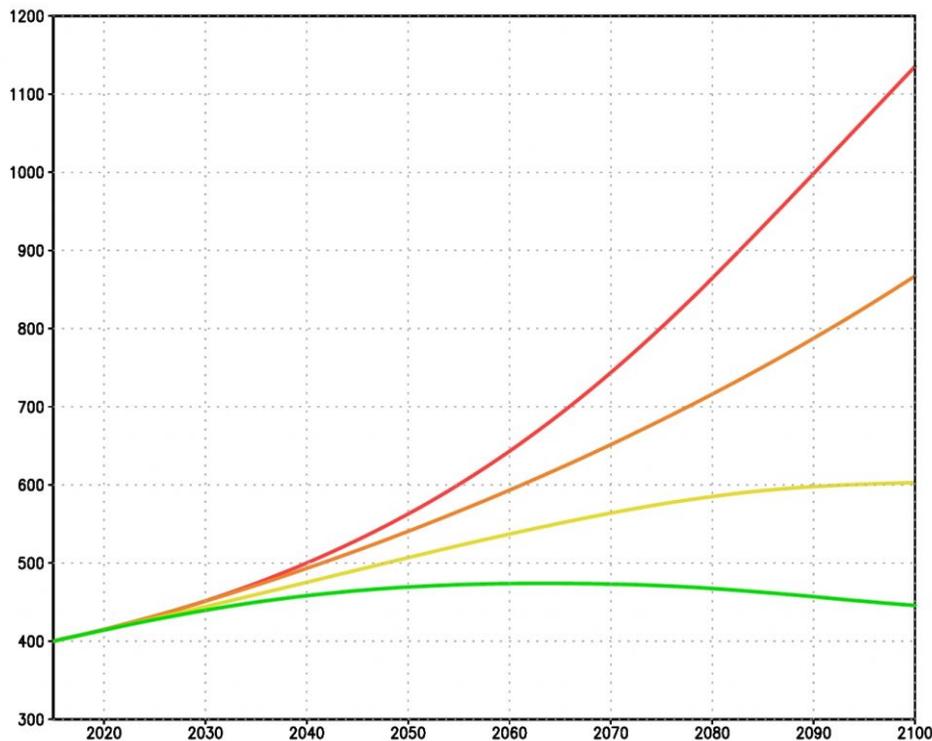


Рис. 1. Концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере (ppm) в 2015–2100 г. при сценариях SSP1-2.6 (зеленый), SSP2-4.5 (желтый), SSP3-7.0 (оранжевый), SSP5-8.5 (красный)

### Моделирование антропогенного воздействия на климат

Чтобы получить прогноз изменений климата, необходимо провести численный эксперимент с климатической моделью, в которой концентрации или эмиссии парниковых газов, аэрозолей и изменение землепользования заданы согласно разработанным сценариям. Климатические модели создаются таким образом, чтобы максимально полно учитывать все основные процессы, влияющие на климат. В их число входят:

- общая циркуляция атмосферы, включая учет взаимодействия с атмосферой солнечного и инфракрасного излучения, а также эволюции облаков,
- расчет процессов на поверхности суши, включая накопление и таяние снега,
- теплопроводность и влагопроводность почвы, формирование речного стока,
- жизненный цикл растений и формирование почв,
- общая циркуляция океана, включая морской лед.

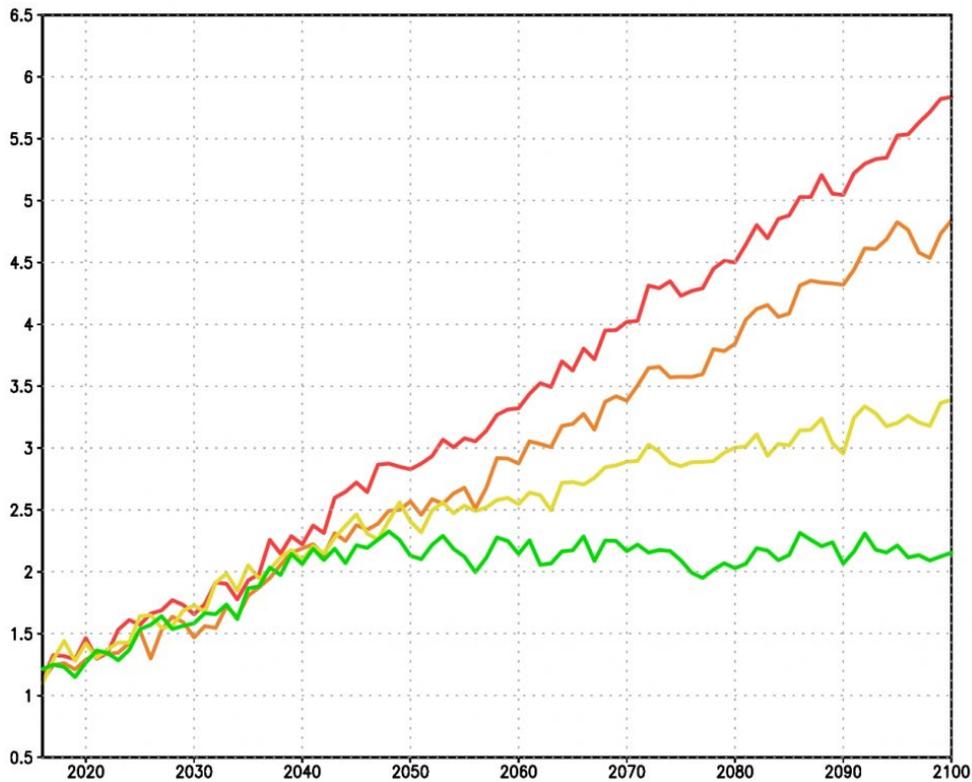
Модели климата устроены примерно так же, как и самые современные модели прогноза погоды. В некоторых метеоцентрах для прогноза погоды и прогноза изменений климата используется одна и та же модель. Такие модели постоянно совершенствуются: уточняются параметризации физических процессов, влияющих на климат, совершенствуются численные методы решения уравнений. Для счета моделей климата, как и моделей прогноза погоды, требуются самые современные компьютеры с тысячами вычислительных ядер. И даже на таких компьютерах счет на столетие может занимать от нескольких дней до нескольких десятков дней реального времени. Причем, как правило, для учета неопределенности производится расчет не одного прогноза, а ансамбля прогнозов, и результат воспроизведения современного климата определяется средним по ансамблю и статистическими характеристиками ансамбля.

Модель климатической системы развивается и в России, в Институте вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН. Она использовалась для прогнозов изменения климата. Модель климатической системы ИВМ РАН в последние годы используется также совместно с Гидрометцентром РФ для прогноза погоды на сезон и на период 1–5 лет, а также для воспроизведения климатов прошлого.

Примеры воспроизведения современного климата и прогнозы изменений климата для различных сценариев, выполненные при помощи указанной модели, можно найти среди результатов других климатических моделей, в 4-м ОД МГЭИК (2007), 5-м ОД МГЭИК (2013) и 6-м ОД МГЭИК (2020). В частности, в 6-м ОД МГЭИК (Том 1, гл. 4, рис. 4.2) показано, что при сценарии SSP1-2.6 к концу XXI века ожидается изменение температуры примерно на 2 градуса по сравнению с доиндустриальным уровнем, при сценарии SSP2-4.5 — на 3 градуса, при сценарии SSP3-7.0 — на 4,5 градуса, при сценарии SSP5-8.5 — на 5,5 градусов.

Это средние значения по всем существующим сейчас климатическим моделям. Данные разных моделей могут довольно заметно различаться.

Например, для сценария SSP3-7.0 данные моделей лежат в интервале от 3,5 до 6,0 градусов. Причин того, почему прогнозы разных моделей различаются, много. Одна из наиболее существенных — различные способы моделирования облачности. Уточнение климатических моделей и получаемых с их помощью прогнозов изменения климата — одна из важнейших современных задач. Результаты прогнозов глобально осредненной температуры по модели климата ИВМ РАН находятся примерно в середине этого интервала или чуть выше середины (рис. 2).

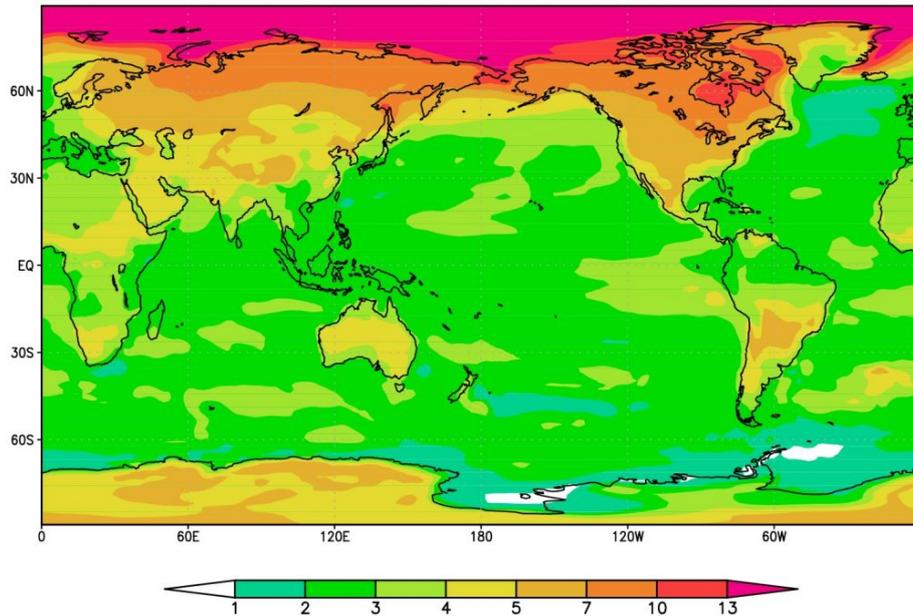


*Рис. 2. Изменение глобально осредненной приземной температуры (градусы) в 2015–2100 г. при сценариях SSP1-2.6 (зеленый), SSP2-4.5 (желтый), SSP3-7.0 (оранжевый), SSP5-8.5 (красный) по данным модели климата ИВМ РАН*

Конечно, климатические модели предсказывают не только изменение глобальной температуры, но и изменения всех элементов климатической системы. Изучая модельные прогнозы, можно узнать, например, как изменится продолжительность вегетационного периода в каком-либо месте, станет ли больше засух и наводнений, насколько быстро будет таять арктический и антарктический лед, ослабеет ли Гольфстрим, и если да, то

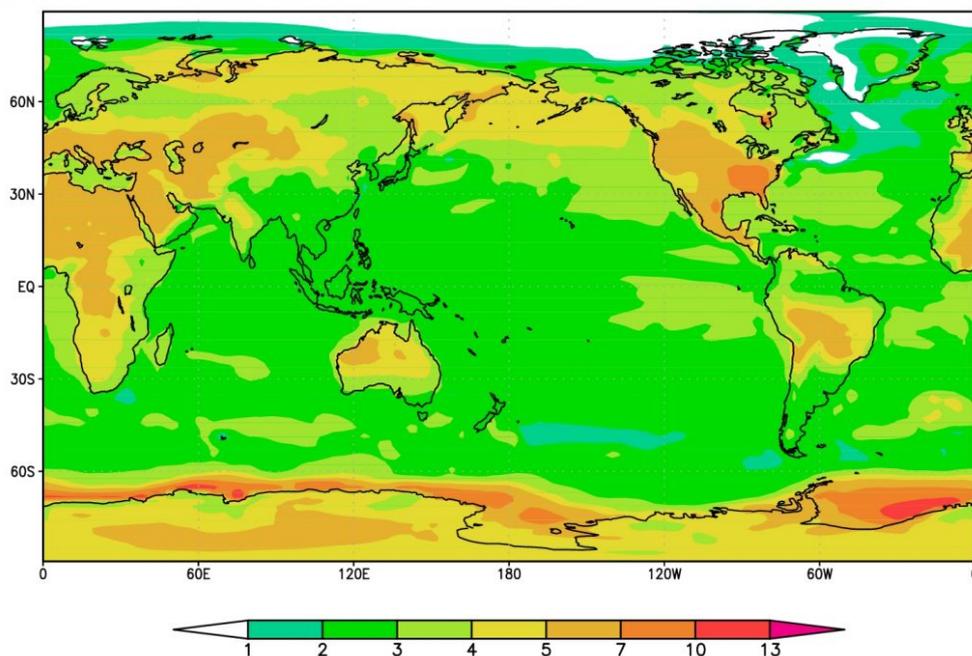
насколько, как быстро будет таять вечная мерзлота и многое-многое другое.

Для примера приведем изменение приземной температуры воздуха в 2081–2100 г. по сравнению с 2001–2020 г. при сценарии SSP3-7.0 для декабря-февраля (рис. 3) и июня-августа (рис. 4) и по данным модели климата ИВМ РАН.



*Рис. 3. Изменение приземной температуры (градусы) в декабре-феврале 2081–2100 г. по сравнению с 2001–2020 г. при сценарии SSP3-7.0 по данным модели климата ИВМ РАН*

Можно видеть, например, что на территории России в умеренных широтах ожидаемое потепление зимой составляет 5–7 градусов, а на севере Сибири — до 10 градусов. В Арктике зимнее потепление еще больше и достигает 13–15 градусов. Летом на территории России самое большое потепление ожидается на юге.



*Рис. 4. То же, что на рис. 3, но для июня-августа*

## **Готовимся к будущему с экстремальной жарой<sup>7</sup>**

Жители Азии с нетерпением ждут окончания сезона экстремальной жары, который сейчас, похоже, подходит к концу. В моей стране — Филиппины — первый в этом году тайфун случился в конце мая, что помогло снизить температуру, достигшую почти 50° по Цельсию. В течение предыдущих месяцев рекордная жара привела к закрытию школ, всплеску обращений в скорую помощь, а также к снижению производительности и возврату к удалённой работе.

Хотя влияние экстремальной жары на здоровье населения и экономику трудно измерить, поражает скорость, с которой всё это забывается. Это похоже на цикл «паника/забвение», который обычно наблюдается по-

<sup>7</sup> Источник: <https://forbes.kz/articles/gotovimsya-k-budushemu-s-ekstremalnoy-zharoy-197c58>  
Опубликовано 19.07.2024

сле пандемий: общества забывают уроки минувших медицинских кризисов и оказываются неподготовленными, когда начинаются следующие.

Нам нужно улучшать готовность к пандемиям, и точно так же нам нужно смягчать риски для здоровья, которые создаёт опасная для жизни повышенная температура. Ожидается, что на фоне ускорения изменения климата периоды экстремальной жары станут более интенсивными и частыми, особенно в Азии. Чтобы выжить в этой «новой нормальности», мы не сможем использовать неадекватные медицинские рекомендации, например, пить больше воды и находиться в кондиционируемых помещениях, как будто большинство мирового населения имеет доступ к кондиционерам и к питьевой воде. И неприемлемо советовать женщинам отказываться от нижнего белья в периоды экстремальной жары, как недавно предложил бывший министр здравоохранения Филиппин.

Нет, власти должны занять более активную позицию и ускорить работу по формированию устойчивости к жаре. К тому моменту, когда ударит новая рекордная волна жары, все страны должны будут иметь национальный план реагирования, а также подготовить меры адаптации к жаре на местном уровне. Более того, все аспекты государственного управления должны теперь рассматриваться сквозь призму климатической устойчивости. Помимо здравоохранения, основными приоритетами должны стать жильё, транспорт и водоснабжение — что соответствует программе «Цели устойчивого развития».

Начать следует с жилья. Многие из наиболее уязвимых людей в Азии живут в плохо проветриваемом государственном жилье или в перенаселённых трущобах. Согласно оценкам, в мире около 1,6 млрд человек страдают от неадекватных жилищных условий. Учитывая, что в таких опросах обычно не учитывается фактор вентиляции, эта цифра может быть занижена.

Существуют более реальные способы климатической адаптации, чем советы беднякам жить в кондиционируемых помещениях. Кондиционеры не только дорого стоят, но и потребляют огромное количество электроэнергии. Согласно оценкам исследователей, на кондиционирование приходится 3,9% глобальных выбросов парниковых газов. Вместо увеличения объёмов сжигаемого ископаемого топлива с целью удовлетворить повышенный спрос на электроэнергию, власти должны переосмыслить подходы к городскому развитию, чтобы защитить и планету, и здоровье населения. Например, ряд стран в Азии, включая Индонезию и Сингапур, начали использовать недорогую краску для «охлаждения крыш», которая позволяет снизить температуру внутри помещений без кондиционеров.

Транспорт — ещё один сектор, чувствительный к жаре. Будь это поездки в переполненных автобусах или ожидание поезда на изнурительно жаркой платформе, в странах с низкими и средними доходами пассажиры часто подвергаются воздействию экстремальной температуры. Инвестиции в устойчивые транспортные системы, обеспечивающие комфорт в периоды жары, имеют огромное значение для достижения жизненно важных климатических и медицинских целей.

Для формирования устойчивости к жаре правительства должны также бороться с глобальным водным кризисом. Хотя гидратация организма необходима для защиты от экстремальной жары, почти треть мирового населения не имеет доступа к чистой питьевой воде. Одноразовые пластиковые бутылки с водой — это не решение. Подобно кондиционированию, это дорогой и углеродоёмкий подход, загрязняющий природу.

Программы подготовки к периодам жары должны фокусировать внимание на самых уязвимых группах населения, включая фермеров, рыбаков, работников строек и заводов, пожилых людей, а также больных. Следует также учитывать заключённых, задержанных мигрантов и психически больных — все они зачастую находятся в экстремально жарких, скученных помещениях.

Подобно протоколам реагирования на случай шторма или пандемии, готовность к экстремальной жаре должна стать частью политики здравоохранения. С этой целью следует обновить системы надзора за болезнями в азиатских странах — так, чтобы учитывались заболевания, связанные с жарой. Это следует сделать до начала нового периода рекордной жары в регионе. Кроме того, важно поддерживать адекватные запасы медицинской продукции, начиная с базовых товаров (например, внутривенные растворы) и заканчивая охлаждающими жилетами.

Информацию о потенциальных последствиях экстремальной жары следует включить в программы обучения и подготовки врачей скорой помощи, местных медработников, специалистов по оказанию первичной помощи. Именно они обычно первыми контактируют с малоимущими пациентами. К сожалению, клинические действия в случае заболеваний, связанных с жарой (например, тепловой удар), упоминались лишь вскользь, когда я был студентом-медиком.

Наконец, учёные должны сосредоточить внимание не только на эпидемиологии жары, но и на эффективности наших норм и предпринимаемых мер. Например, Национальный университет Сингапура в 2023 году открыл специальный центр, изучающий устойчивость к жаре. Мой институт дополнит эту работу новой инициативой планетарного здоровья, кото-

рая поможет системам здравоохранения и населению стран Азии повысить климатическую устойчивость.

Глобальные температуры растут тревожно высокими темпами, поэтому у нас нет иного выбора, кроме как адаптироваться к потеплевшему миру. В то же время ускорение процесса декарбонизации позволило бы нам снизить частоту и интенсивность экстремальных периодов жары. Требуя от правительств и корпораций, чтобы они перестали сжигать ископаемое топливо, мы сможем сформировать настоящую жароустойчивость и улучшить планетарное здоровье.

## Факты и реалии

### На Земле целый год температура на 1,5°C выше, чем в доиндустриальную эпоху<sup>8</sup>

Согласно измерениям службы Copernicus температура в период с июля 2023 года по июнь 2024 года была самой высокой за всю историю наблюдений. Среднегодовая температура на Земле превысила на 1,64°C температуру в доиндустриальную эпоху с 1850 по 1900 год.

Результаты Copernicus не означают, что цель, поставленная Парижским соглашением, не достигнута. Тогда мировые лидеры обещали остановить потепление планеты на уровне 1,5°C к концу столетия. Глобальная температура измеряется в средних показателях за десятилетие, а не за год. Но жара, ливни и ураганы усиливаются. Температура растет.

Согласно измерениям службы Copernicus температура в период с июля 2023 года по июнь 2024 года была самой высокой за всю историю наблюдений. Среднегодовая температура на Земле превысила на 1,64°C температуру в доиндустриальную эпоху.

Карло Буонтемпо, директор службы по изменению климата Copernicus заявил, что полученные результаты — не статистическая аномалия, а «продолжающееся изменение» климата.

«Даже если эта конкретная полоса экстремальных явлений в какой-то момент закончится, мы обязательно увидим новые рекорды, поскольку планета продолжает нагреваться. Это неизбежно, если мы не прекратим добавлять парниковые газы в атмосферу и океаны», — говорит Буонтемпо.

Copernicus использует миллиарды измерений со спутников, кораблей, самолетов и метеостанций для отслеживания ключевых климатических показателей. Измерения показали, что июнь 2024 года был жарче, чем любой другой июнь за всю историю наблюдений, и стал 12-м месяцем подряд с температурой на 1,5°C выше, чем в среднем за период с 1850 по 1900 год.

По словам ученых, поскольку температура в некоторые месяцы имела «относительно небольшой диапазон» выше 1,5°C, наборы данных дру-

---

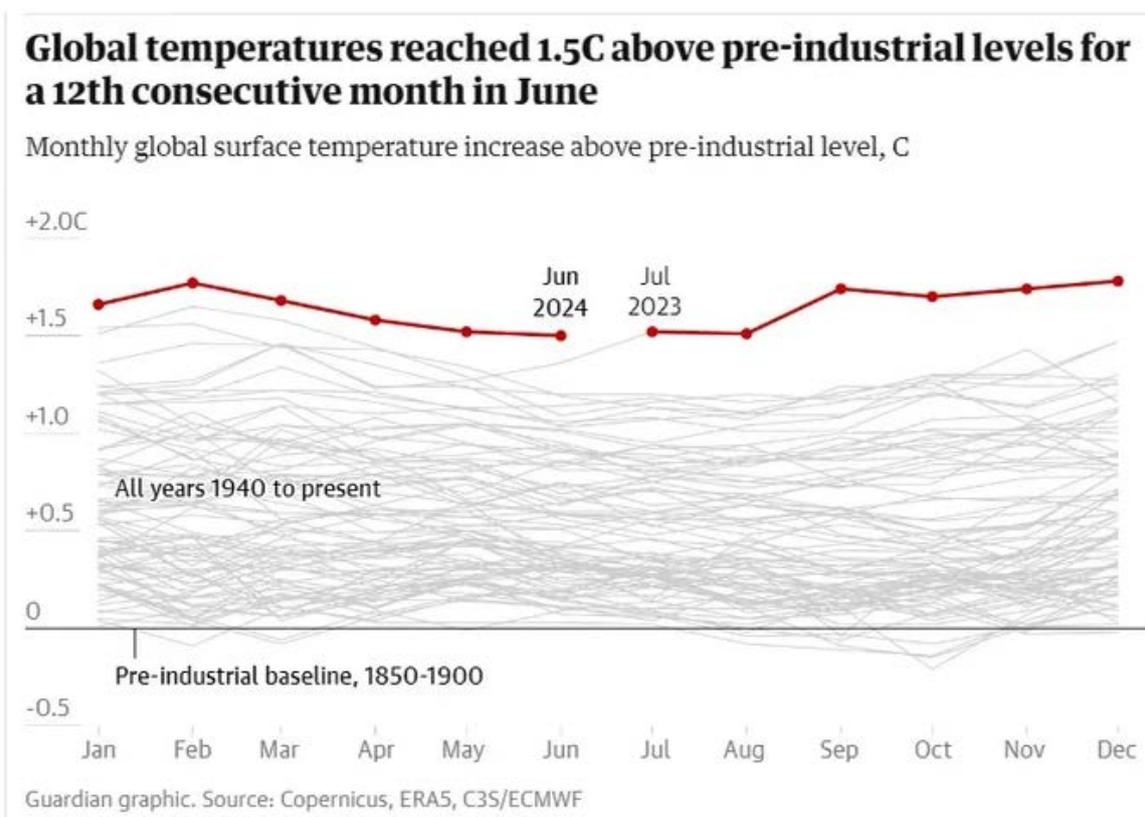
<sup>8</sup> Источник: <https://www.techinsider.ru/news/news-1650417-na-zemle-celyi-god-temperatura-na-15c-vyshe-chem-v-doindustrialnuyu-epohu/> Опубликовано 13.07.2024

гих климатических агентств могут не подтвердить 12-месячную температурную полосу.

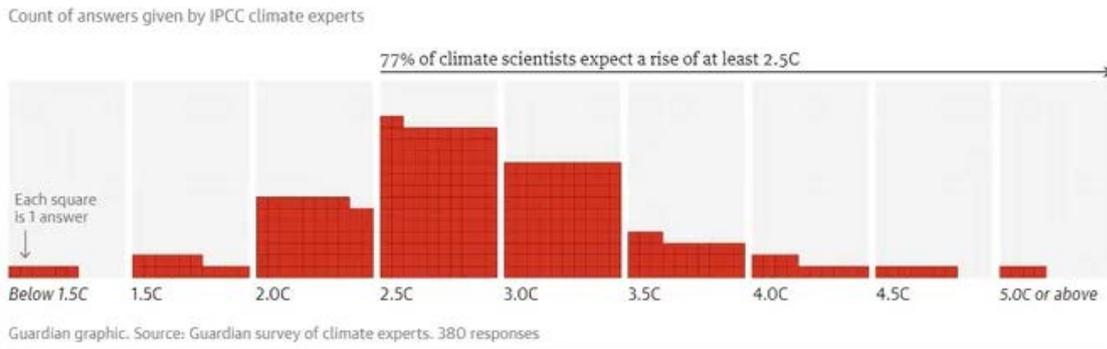
### Парниковый эффект продолжает усиливаться

Каждая молекула углекислого газа, попадающая в атмосферу Земли, задерживает отраженное от Земли солнечное тепло и меняет погоду, независимо от того, выбрасывается она из трубы угольной электростанции или из выхлопной трубы автомобиля или самолета. Чем жарче становится планета, тем труднее людям и экосистемам адаптироваться к изменениям.

Адити Мукерджи, директор исследовательского института CGIAR и соавтор последнего доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) говорит. «Мы знаем, что экстремальные явления усиливаются с каждой долей градуса глобального потепления. При повышении температуре на 1,5°C мы уже стали свидетелями экстремально жаркой погоды в этом году».



Глобальная температура с июля 2023 по июнь 2024.  
График Guardian по данным Copernicus



Наиболее вероятное потепление к концу века 2,5°C  
Опрос экспертов IPCC Guardian

Некоторые экосистемы особенно уязвимы к потеплению. В своем последнем научном обзоре IPCC установила, что потепление на 1,5°C уничтожит 70-90% тропических коралловых рифов, а потепление на 2°C уничтожит их практически полностью.

Опрос, проведенный Guardian среди сотен авторов IPCC в этом году, показал, что три четверти из 380 опрошенных ученых ожидают, что к 2100 году планета нагреется как минимум на 2,5°C, при этом около половины ученых ожидают, что температура превысит 3°C. Это очень много.

### Глобальное потепление

Мукерджи сравнила глобальное потепление на 1 градус с легкой, а на 1,5 градуса с серьезной простудой. Она говорит: «А теперь представьте себе человеческое тело с такой температурой в течение многих лет. Сможет ли этот человек нормально жить? Сегодня в таком состоянии вся наша Земля».

## **Ученые обнаружили перемещение лесов в более холодные и влажные регионы<sup>9</sup>**

Совместное исследование ученых из Университета Алькала (Испания) и Бирмингемского университета (Великобритания) показало, что изменение климата приведет к перемещению деревьев в более холодные и влажные регионы своего географического распространения.

Исследование представляет собой первое количественное доказательство того, что изменение климата приводит к изменению количества деревьев каждого вида в лесах умеренной зоны на континентальном уровне.

Ученые проанализировали данные о более чем двух миллионах деревьев 73 видов, широко распространенных в странах Европы и США. Они выяснили, можно ли объяснить изменения в плотности деревьев специфическими характеристиками каждого вида, такими как устойчивость к засушливым условиям или их способность к распространению. Важно отметить, что в ходе исследования не было выявлено ни одного признака видов деревьев, который бы стал решающим для этих изменений. Отсутствие определенного признака позволяет предположить, что большинство видов в той или иной степени обладают способностью к акклиматизации.

Понимание того, как лесные виды реагируют на изменение климата, увеличивая свою плотность в более северных регионах, необходимо для планирования мероприятий по сохранению, управлению и восстановлению экосистем. Некоторые виды деревьев, которые в настоящее время используются для восстановления экосистем в Европе, в ближайшем будущем могут оказаться непригодными для этих регионов. Масштабные программы лесовосстановления, запланированные в качестве решения проблемы улавливания и хранения углекислого газа из атмосферы, могут стать малоэффективными, если они не будут учитывать эти реакции.

Данные, полученные в ходе инвентаризации лесов, крайне важны для понимания динамики лесов и их устойчивости к изменению климата.

Одной из причин сокращения площадей лесов является заражение их болезнями и вредителями. Фитопатогены, поражающие лесные культуры, изучают в отделе лесного карантина Всероссийского центра карантина растений Россельхознадзора (ФГБУ «ВНИИКР»). Исследования и разра-

---

<sup>9</sup> Источник: <https://agroexpert.press/zemlya/uchenye-obnaruzhili-peremeshhenie-lesov-v-bolee-holodnye-i-vlazhnye-regiony/> Опубликовано 13.07.2024

ботки, проводимые в отделе, применяют при мониторинге карантинных организмов леса и для сохранения биологического разнообразия.

## **Изменение климата ведет к увеличению продолжительности дня, – ученые<sup>10</sup>**

Таяние полярных льдов, вызванное глобальным потеплением, изменяет скорость вращения Земли и тем самым увеличивает продолжительность дня, выяснили ученые. Результаты этого исследования опубликованы в американском научном журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

Изменения во времени незначительны — несколько миллисекунд в день, отмечают ученые. Сейчас день на Земле длится 86,4 тыс. секунд. Однако в современном высокотехнологичном мире эти миллисекунды оказывают важное влияние на вычислительные системы, на которые люди привыкли полагаться, например, GPS.

«Это работает так: по мере того, как люди нагревают мир, ледники и ледяные щиты тают, и эта талая вода течет от полюсов к экватору. Это меняет форму планеты — сплющивая ее на полюсах и делая ее более выпуклой в середине — замедляя ее вращение», — объясняют исследователи.

К таким выводам ученые пришли, когда проанализировала 200-летний период с 1900 по 2100 год, используя данные наблюдений и климатические модели, чтобы понять, как изменение климата влияло на продолжительность дня в прошлом и спрогнозировать его роль в будущем.

Однако профессор Университета Калифорнии в Сан-Диего Данкан Эгню пришел ранее к противоположному выводу. В своей статье в журнале *Nature* он тоже заявил, что на продолжительность суток оказывает влияние таяние ледников Антарктики и Гренландии. Их исчезновение приводит к перераспределению массы к экватору планеты, из-за этого Земля начинает вращаться еще медленнее, а сутки, по словам ученого, уменьшаются.

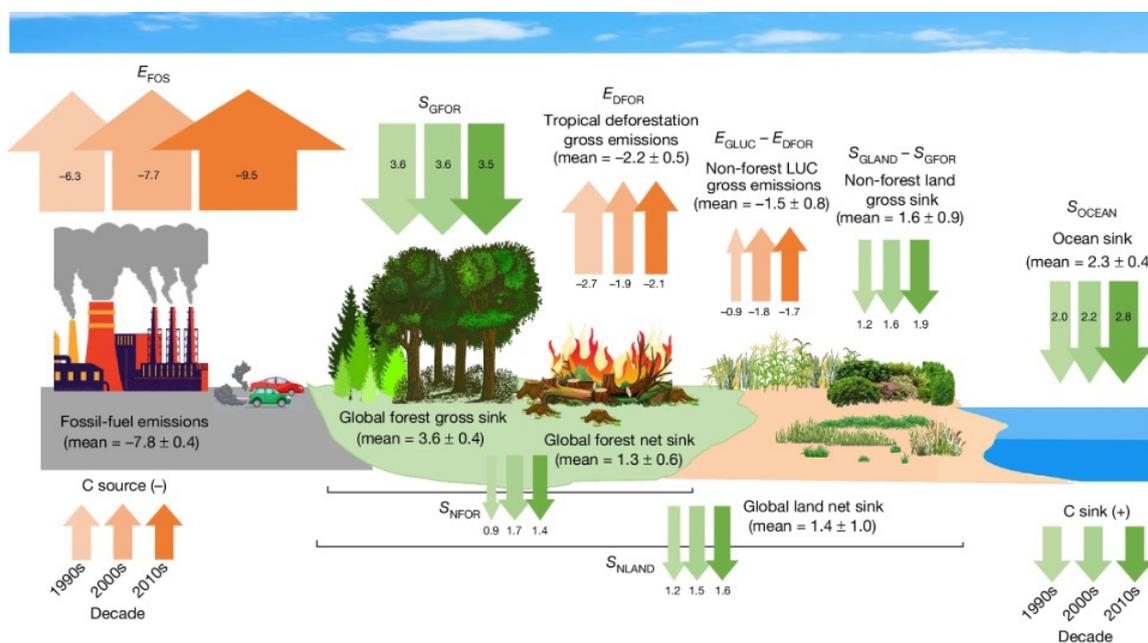
---

<sup>10</sup> Источник: <http://www.dialog.tj/news/izmenenie-klimata-vedet-k-uvelicheniyu-prodolzhitelnosti-dnya-uchenye> Опубликовано 16.07.2024

Ученый спрогнозировал, что в связи с этим в 2029 году человечество будет вынуждено сократить продолжительность суток 30 июня или 31 декабря на секунду.

## Вырубки тропиков перечеркнули две трети поглощения углерода мировыми лесами<sup>11</sup>

За последние 30 лет углеродный сток мировых лесов оставался достаточно стабильным: ученые оценивают его приблизительно в 3,5 миллиарда тонн углерода в год. Однако две трети этого эффекта нивелировали ежегодные выбросы 2,2 миллиарда тонн из-за вырубки тропических лесов. При этом в умеренных лесах ситуация, напротив, улучшилась — их сток вырос почти на треть благодаря программам лесовосстановления в Китае. Такие выводы содержит исследование, опубликованное в журнале Nature.



<sup>11</sup> Источник: <https://nplus1.ru/news/2024/07/18/global-forest-carbon-sink> Опубликовано 18.07.2024

Согласно целям, закрепленным в Парижском соглашении, к 2050 году мир должен достичь нулевых антропогенных выбросов углекислого газа. Полностью избежать их невозможно, и соглашение подразумевает, что такие выбросы будут поглощаться в количестве до шести миллиардов тонн углерода в год — преимущественно природными экосистемами. Изменения землепользования (например, вырубка лесов и перевод этих территорий под пастбища) привели к тому, что экосистемы суши потеряли порядка 180 миллиардов тонн углерода, но в будущем они смогут частично связать его обратно. В поглощении углерода растительным покровом суши доминируют леса, поэтому важно иметь точную оценку их климатического потенциала.

Ученые под руководством Пань Юйде (Yude Pan) из Лесной службы США опубликовали отчет о потоках углерода в лесах с 1990 по 2019 годы. При этом они ориентировались в первую очередь не на данные дистанционного зондирования, на которых основано большинство существующих оценок, а на наземные инструментальные измерения с участков долгосрочного мониторинга. Эти измерения проводили национальные службы инвентаризации, они включали наблюдения за потоками парниковых газов и запасами углерода в нетронутых и деградированных бореальных, умеренных и тропических лесах. Также авторы учли заготовку пиломатериалов, которую включили в отчет как компонент стока углерода.

Согласно отчету, общая площадь лесов в мире за последние 30 лет сократилась на пять процентов. Сток углерода в них остался достаточно стабильным: в 1990-х он составлял  $3,59 \pm 0,34$ , а в 2010-х —  $3,53 \pm 0,41$  миллиарда тонн углерода в год. Это эквивалентно 46 процентам антропогенных выбросов парниковых газов. Всего в 2020 году мировые леса содержали  $870 \pm 61$  миллиардов тонн углерода. 43 % его сосредоточено в живой биомассе, 8 % — в мертвой древесине, 45 % в почвах и 4 % в лесной подстилке (верхний слой лесных почв, который формируется преимущественно опадом и отмершими частями растений).

Тропики за последние десятилетия потеряли 13 % площади, но в них на 56 % (194 миллиона гектар) увеличилась площадь лесов, которые восстанавливаются и не вырубают. Вырубка тропических лесов привела к ежегодным выбросам  $2,2 \pm 0,5$  миллиарда тонн углерода в атмосферу с 1990 года, то есть нивелировала практически две трети эффекта депонирования углерода всеми лесами мира. Умеренные леса получили прирост площади на семь процентов (52 миллиона гектар) и увеличение стока на 30 % за счет программ лесовосстановления в Китае. Площадь бореальных лесов оставалась стабильной, но их суммарный сток упал на 36 % преимущественно за счет лесов на азиатской территории России.

Оценки авторов исследования могут оказаться значительно точнее предыдущих, основанных на спутниковых данных и обратном моделировании. Неопределенность годового стока углерода в их работе составила примерно 400 миллионов тонн, тогда как в прежних оценках варьировалась от 500 миллионов до 1,8 миллиарда. Ученые также отметили, что несмотря на стабильность стока углерода в лесах на протяжении трех десятилетий, в будущем он рискует ослабнуть из-за продолжающейся вырубке лесов и их старения.

Одна из недавних оценок углеродного потенциала мировых лесов, на которую не ссылались авторы этого исследования, составляет 226 миллиардов тонн углерода: из них 139 миллиардов тонн в существующих деградированных лесах, если их восстановить, и еще 87 миллиардов тонн на обезлесенных территориях, где получится высадить лес. Впрочем, этого получится достигнуть только при серьезных изменениях в землепользовании и сокращении вырубки лесов.

## **Истощение грунтовых вод затронуло половину зависимых экосистем<sup>12</sup>**

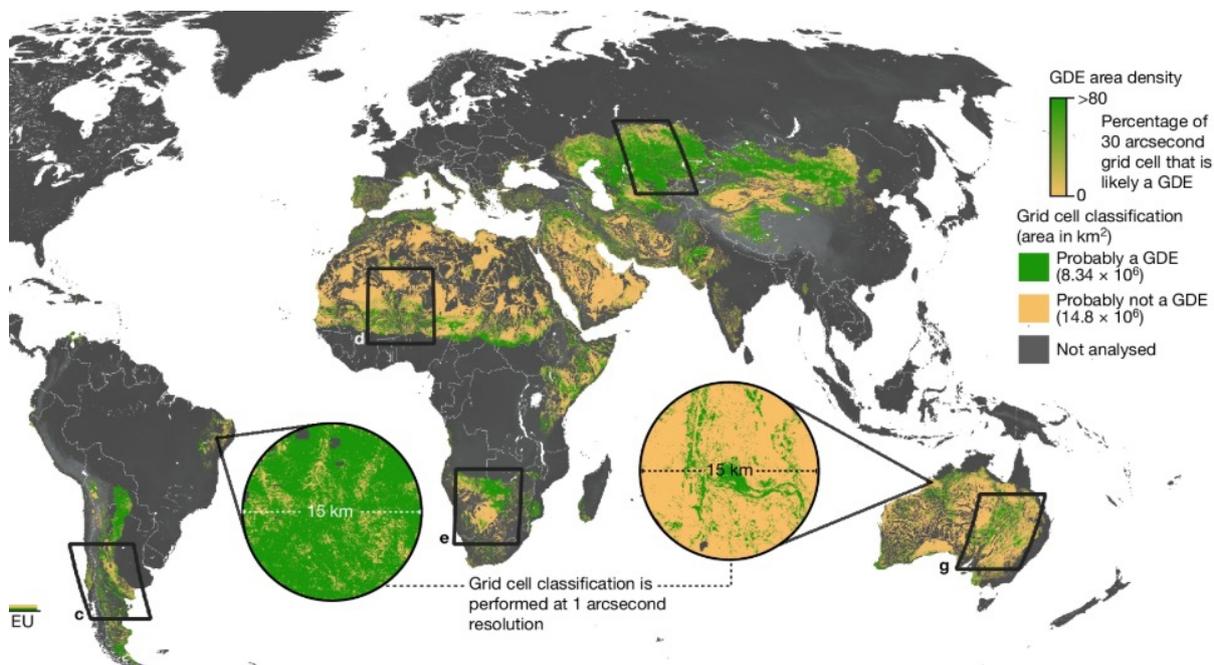
53 % площади экосистем, существование которых зависит от доступа к грунтовым водам, приходится на зоны, где эти воды истощаются. При этом только пятая часть таких экосистем находится под охраной или устойчивым управлением со стороны государства, а прочие не наделены таким статусом, и в регионах вроде Сахеля попадают на зоны военных конфликтов и продовольственной нестабильности. К таким выводам пришли ученые, составив первую карту этих экосистем с высоким разрешением. Результаты их исследования опубликованы в журнале Nature.

Примерно 40 % суши приходится на засушливые районы, в которых затруднен доступ к пресной воде. На таких территориях проживает около двух миллиардов человек, и в своем хозяйстве они полагаются преимущественно на грунтовые воды, уровень которых постоянно снижается, и до них становится сложнее добраться и людям, и экосистемам. Такие экосистемы, зависимые от грунтовых вод, нуждаются в охране и мониторинге

---

<sup>12</sup> Источник: <https://nplus1.ru/news/2024/07/22/groundwater-map> Опубликовано 22.07.2024

— их сохранение позволяет укреплять берега рек, улучшать качество поверхностных вод и бороться с наводнениями. При этом их распространение в мире и точные размеры до сих пор не известны.



Ученые под руководством Мелиссы Роде из Университета штата Нью-Йорк составили наиболее детализированную (разрешение 30 метров) мировую карту экосистем, существование которых зависит от доступности грунтовых вод. Для создания модели они использовали 11 переменных-предикторов, включая различные водные и вегетационные индексы, аномалии температур поверхности и отношение эвапотранспирации (суммарного испарения с поверхности почвы и растительного покрова) к осадкам.

Оказалось, что такие экосистемы присутствуют на 36 процентах засушливых земель и покрывают 8,34 миллиона квадратных километров суши. На них приходится несколько важных очагов биоразнообразия — Мезоамерика, тропические Анды, Калифорнийская флористическая провинция и некоторые другие. Только 21 процент территории этих экосистем (1,76 миллиона квадратных километров) имеют какую-то степень защиты со стороны государства, то есть приходится на особо охраняемые природные территории или юрисдикции с устойчивой политикой в области управления грунтовыми водами. А вот, например, в Сахеле они тесно пе-

ресекаются с зонами военных конфликтов и продовольственной нестабильности.

Точность своей модели авторы оценили в 81 %, а наиболее важными предикторами экосистем, зависящих от грунтовых вод, назвали отношение испарения к осадкам и температуру поверхности земли. Они отметили, что 53 % (3,81 миллиона квадратных километров) площади таких экосистем приходится на зоны с тенденцией к истощению грунтовых вод. Наибольшие доли экосистем в зоне риска приходятся на Европу (90 %), Азию (75 процентов) и Северную Америку (65 %). В Африке и Южной Америке угроза пока выражена не столь сильно. Полученные данные свидетельствуют о том, что зависимые от грунтовых вод экосистемы нуждаются в повсеместной защите.

Помимо того, что грунтовых вод становится все меньше, падает их качество. Недавно ученые дали первую оценку их потепления в глобальном масштабе. Они установили, что с 2000 по 2020 годы их температура выросла в среднем на 0,3 градуса Цельсия. Даже при существенных ограничениях антропогенных выбросов парниковых газов к концу века до 188 миллионов человек будет проживать в зонах, где температуры грунтовых вод превысят порог, допустимый для питьевой воды.

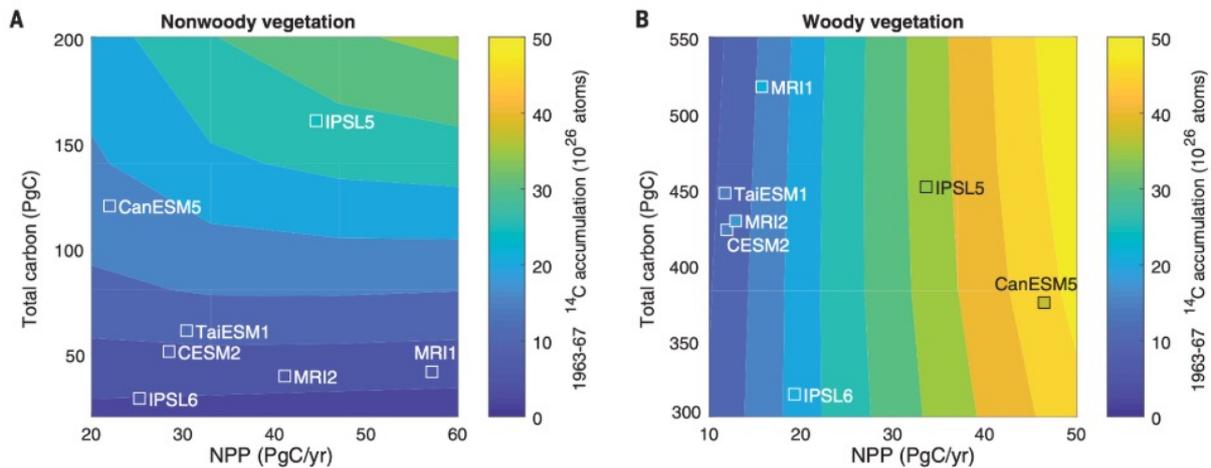
## **Накопление углерода в растительном покрове недооценили вдвое<sup>13</sup>**

Расчеты с использованием радиоуглеродного цикла показали, что растительный покров суши поглощает не менее 80 миллиардов тонн углерода в год с учетом затрат на дыхание. Это практически вдвое превосходит прежние оценки чистой первичной продуктивности от 43 до 76 миллиардов тонн углерода в год и говорит о том, что текущие климатические модели должны быть пересмотрены. Впрочем, в коррекции нуждается не только оценка накопленного углерода, но и время его хранения в растениях, которое оказалось более коротким, чем считалось ранее. Такие выводы содержит исследование, опубликованное в журнале Science.

---

<sup>13</sup> Источник: <https://nplus1.ru/news/2024/06/24/carbon-uptake-terrestrial-vegetation> Опубликовано 24.06.2024

Растительный покров суши поглощает до 30 процентов антропогенных выбросов парниковых газов, и на этой его функции завязаны многие планы людей по смягчению последствий изменения климата. Эффективность связывания углерода растениями удобно оценивать по чистой первичной продукции — количеству органического вещества, которое они образуют посредством фотосинтеза, за вычетом затрат на дыхание. Оценки глобальной чистой первичной продукции растений суши затруднены, потому что изменение климата, с одной стороны, способствует ее росту, а с другой стороны — снижению. На текущий момент оценки первичной продуктивности суши в климатических моделях разбросаны в значениях от 43 до 76 миллиардов тонн углерода в год.



Ученые под руководством Хезер Грэйвен из Имперского колледжа Лондона дали оценку чистой первичной продуктивности растительного покрова суши, опираясь на цикл  $^{14}\text{C}$  в наземной биосфере. Радиоуглерод ведет себя в окружающей среде так же, как и стабильный, но проще отслеживается, и поэтому используется как индикатор для любых углеродных потоков. Авторы сосредоточились на периоде с 1963 по 1967 год, когда в атмосферу уже поступил радиоуглерод от ядерных испытаний, а новые испытания практически не проводились. Сначала  $^{14}\text{C}$  попадал в атмосферу, а затем выпадал из нее на сушу и в мировой океан.

Используя данные глобальных компиляций, отчетов Health and Safety Laboratories (потери радиоуглерода стратосферой и переход в тропосферу), GEOSECS и WOCE (накопления радиоуглерода океаном), удалось

рассчитать баланс  $^{14}\text{C}$  в его крупных резервуарах. Между 1963 и 1967 годами стратосфера потеряла  $200 \times 10^{26}$  атомов радиоуглерода, из которых  $40 \times 10^{26}$  атомов опустились в тропосферу, а  $80 \times 10^{26}$  атомов осели в океане. Исходя из этого, суша должна была получить  $(86 \pm 18) \times 10^{26}$  атомов радиоуглерода. Широко принятые климатические модели (в том числе CESM2, которая включающая расчеты по  $^{14}\text{C}$ ) оценивают это количество в  $40 \times 10^{26}$  атомов, то есть занижают его вдвое.

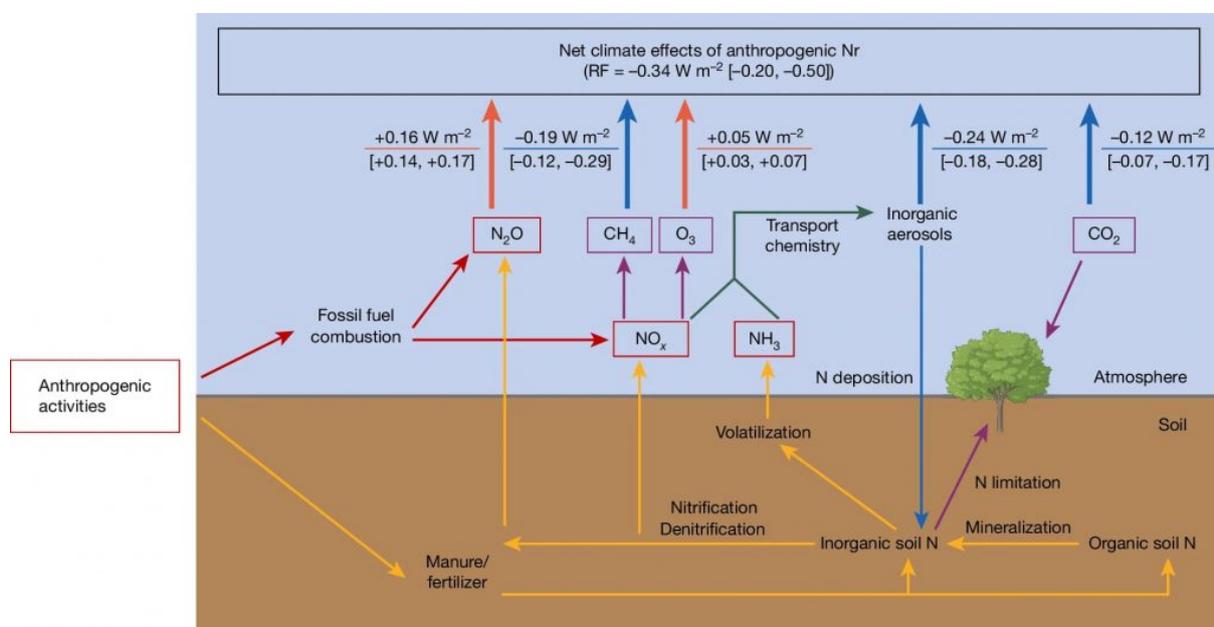
Пересчет чистой первичной продуктивности на 1965 год с учетом новых данных оценил ее значение в более чем 63 миллиарда тонн углерода в год. С учетом того, что ассимиляции углерода растительным покровом с тех пор выросла на 30 процентов, сейчас чистая первичная продукция должна составлять как минимум 80 миллиардов тонн в год, что практически вдвое превышает значения, которые выдают модели CMIP6. Текущие модели особенно сильно недооценивают накопление в древесной растительности и подземной фитомассе. Авторы отметили, что модели нужно откорректировать не только с учетом большего накопления углерода в растениях, но и с учетом его более краткосрочного хранения в них. Скорость оборотов углерода обещает быть выше, чем считалось ранее, что указывает на уязвимость растительного покрова как углеродного резервуара.

Нередко оценки накопления углерода в экосистемах приходится пересматривать в сторону понижения, а не повышения. Так, недавно ученые пришли к выводу, что потери почвенного углерода из-за выпаса скота раньше недооценивали втрое. Согласно результатам нового исследования, за последние 60 лет они составили порядка 50 миллиардов тонн.

## Удобрение полей замедляет глобальное потепление, посчитали ученые<sup>14</sup>

Международная группа исследователей под руководством ученых из Института биогеохимии Макса Планка посчитала влияние на климат выбросов соединений азота из сельскохозяйственных и несельскохозяйственных источников. Анализ показал, что комплексное воздействие замедляет рост глобальной температуры.

Азот, который составляет примерно 78% воздуха, климатически нейтрален. Но все соединения элемента влияют на глобальную среднюю температуру, правда, по-разному. Например, при удобрении почвы выделяется закись азота, действующая как парниковый газ, и аммиак, который блокирует солнечный свет и вызывает охлаждение. Кроме того, внесение азота приводит к тому, что растения становятся более пышными и поглощают больше углекислого газа.



*Комплексное воздействие соединений азота на климат*

<sup>14</sup> Источник: <https://hightech.fm/2024/07/26/nitrogen-effects> Опубликовано 26.07.2024

Исследователи определили общий эффект азота, выделяемого в результате антропогенной деятельности. Они посчитали, какое количество различных соединений азота попадает в почву, воду или воздух. Эти данные ввели в модели, которые отображают глобальный азотный цикл и его влияние на углеродный цикл. Также в исследовании учли влияние выбросов на радиационное воздействие, то есть энергию Солнца, которая достигает поверхности Земли.

Анализ показал, что азот, выделяемый в результате деятельности людей, охлаждает климат на  $-0,34$  Вт/м<sup>2</sup>. Для сравнения: при антропогенном глобальном потеплении атмосфера нагревается в основном за счет парниковых газов от ископаемого топлива на  $2,7$  Вт/м<sup>2</sup>, по данным за 2011-2020 годы. При этом за этот период планета нагрелась в среднем на  $1,1^{\circ}\text{C}$  по сравнению с доиндустриальными временами.

Хотя отрицательное радиационное воздействие, вызванное поступлением азота, не может быть просто преобразовано в изменение глобальной средней температуры, говорят ученые. Тем не менее очевидно, что без поступления азота от человеческой деятельности климат стал бы еще жарче. Эти эффекты важно учитывать при планировании программ по борьбе с потеплением.

## **Выбросы метана достигли своего максимума<sup>15</sup>**

Человечество увеличило выбросы метана. Об увеличении эмиссии парниковых газов на днях написал журнал *Frontiers in Science*.

Издание сообщает, что человечество побilo 20-летний рекорд по темпам вредных выбросов в атмосферу.

– Примерно 20 лет назад они были довольно стабильными, но только за последние несколько лет мы увидели огромный скачок в выбросах метана. Это еще больше усложнило борьбу с антропогенным потеплением, — отметил климатолог из Университета Дьюка Дрю Шинделл.

---

<sup>15</sup> Источник: <https://nia.eco/2024/07/31/87609/> Опубликовано 31.07.2024

Набор темпов эмиссии усилился в 2006 году и эта тенденция, по словам ученых, будет сохраняться как минимум до конца текущего десятилетия.

Согласно статистике, приведенной в статье, в 2020-х годах эмиссия метана стала в среднем на 30 миллионов тонн в год больше, чем в 2010-х годах, а рекорд по выбросам принадлежит 2021 и 2022 годам. Причиной эксперты называют непрекращающуюся добычу газа и нефти и бум гидравлического разрыва пласта. Также в число главных источников выбросов попали скотоводческая отрасль и производство риса. При этом ученые подчеркивают, что человечество сконцентрировалось на поиске способов сократить выбросы углекислого газа, в то время как метан нагревает атмосферу в 80 раз сильнее и, соответственно, оказывает на глобальное потепление большее, по сравнению с CO<sub>2</sub>, влияние.

## **Невиданные структуры обнаружили подо льдом Антарктиды<sup>16</sup>**

Исследователи из Гетеборгского университета использовали беспилотный подводный аппарат для исследования полости под шельфовым ледником Дотсона в Западной Антарктиде. Используя точную карту, составленную по результатам наблюдения, ученые обнаружили новые признаки будущего повышения уровня моря.

Научный аппарат продвинулся вглубь ледника на 17 км и за 27 дней прошел более 1000 км подо льдом, двигаясь вдоль нижней границы ледника. Карта, составленная аппаратом, выявила ранее невиданные структуры в виде капель на основании шельфового ледника, которые не соответствовали прогнозируемой гладкой поверхности.

«Ранее мы использовали спутниковые данные и ледяные керны, чтобы наблюдать, как ледники меняются с течением времени. Проведя батискаф в полость, мы смогли получить карты высокого разрешения нижней поверхности льда. Это немного похоже на то, как будто видишь обратную

---

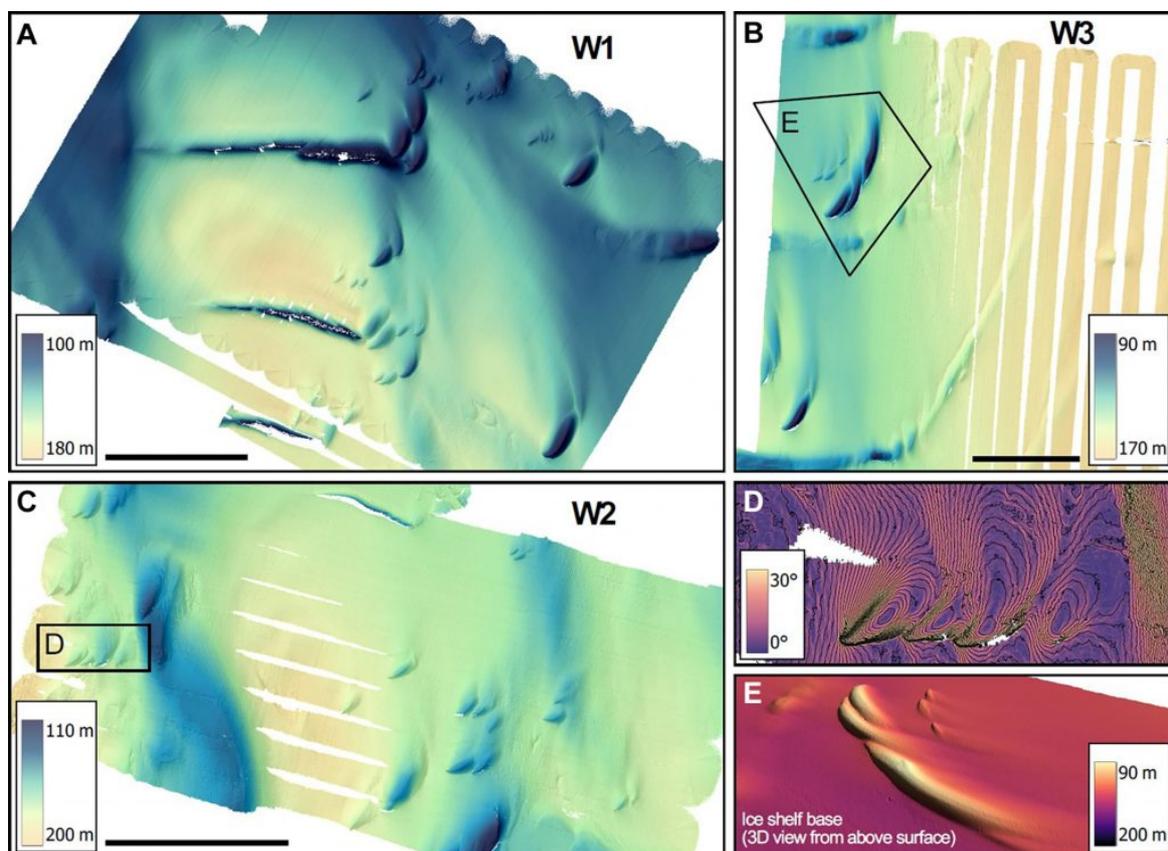
<sup>16</sup> Источник: <https://hightech.fm/2024/08/01/shapes-beneath-antarctic> Опубликовано 1.08.2024

сторону Луны», – говорит Анна Вахлин, ведущий автор и профессор океанографии в Университете Гетеборга

Как и ожидали ученые, исследование показало, что ледник тает быстрее всего в областях, где подводные течения размывают его основание, а трещины, проходящие через ледник, помогают талой воде подниматься на поверхность.

Но неожиданно они также обнаружили, что вместо того, чтобы быть гладким, основание ледника было испещрено каплевидными фигурами, выходящими из пиков и долин во льду. Некоторые из этих фигур достигают 400 м в длину. Исследователи полагают, что эти странные узоры создаются неравномерным таянием, когда вода движется вместе с вращением Земли по нижней стороне ледника.

Шельфовый ледник Дотсона — это большой участок плавучего льда шириной 50 км в Западной Антарктиде. Этот регион испытывает значительную нестабильность: от ледника регулярно откалываются айсберги. Эксперты прогнозируют, что разрушение всего ледяного щита может привести к повышению уровня мирового океана примерно на 3,4 м.



*Сложная структура донной части ледника*

Новые данные о том, как происходит эрозия, позволят лучше понимать, что приводит к отрыву шельфового ледника от земли и, в конечном итоге, к его разрушению.

## **Влияние потребления мяса на климат: обзор восьми ключевых исследований<sup>17</sup>**

Многочисленные исследования показывают, что потребление мяса и молочных продуктов оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, в частности, через выбросы парниковых газов.

### **1940-1990-е годы: Ранние исследования жвачных животных и метана**

Научные исследования в середине 20 века начали выявлять связь между сельским хозяйством и климатическими изменениями. В 1940-х годах ученые впервые начали изучать, как жвачные животные, такие как коровы, выделяют метан в процессе отрыжки, что является мощным парниковым газом. В 1965 году были проведены дальнейшие исследования, показавшие значительное влияние навоза на загрязнение окружающей среды. К 1979 году исследования подтвердили, что метан, выделяемый жвачными животными, представляет собой серьезную угрозу для климата. В 1989 году ученые также начали изучать влияние аквакультуры на морскую экосистему, а в 1990 году исследователи сосредоточились на загрязнении воды, вызванном молочной промышленностью.

**Вывод:** Жвачные животные выделяют значительное количество метана и требуют большого количества земли для пастбищ и кормов.

---

<sup>17</sup> Источник: <https://ecosphere.press/2024/08/13/vliyanie-potrebleniya-myasa-na-klimat-obzor-vosmi-klyuchevyh-issledovaniy/> Опубликовано 13.08.2024

### **1997: Доклад о налоге на мясо**

В 1997 году канадский эколог Роберт Гудленд опубликовал статью, в которой рассматривался возможный налог на мясо в богатых странах. Гудленд утверждал, что введение налога на мясо, особенно говядину и свинину, могло бы снизить чрезмерное потребление мяса в богатых странах и, как следствие, уменьшить экологические проблемы, связанные с мясной промышленностью. В то же время это позволило бы развивающимся странам увеличить потребление животного белка без дополнительных экологических последствий.

С тех пор идея налога на мясо стала предметом обсуждения в Дании, Швеции и Германии как потенциальное решение для борьбы с климатическими изменениями.

Вывод: Введение налога на мясо в богатых странах могло бы снизить экологическое воздействие от потребления мяса.

### **2006: Отчет ФАО о воздействии животноводства**

В 2006 году Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) опубликовала отчет, который вызвал глобальную дискуссию о влиянии животноводства на климат. В этом отчете был использован анализ жизненного цикла, чтобы оценить долю глобальных выбросов парниковых газов, приходящихся на животноводство, первоначально составившую 18%. В отчете также упоминались проблемы потери биоразнообразия и загрязнения воды и воздуха. После выхода отчета мясная промышленность начала масштабную лоббистскую кампанию, направленную на ослабление влияния данных исследований. В результате, в 2013 году ФАО скорректировала данные, снизив оценку до 14,5%, хотя критики считают, что это может быть заниженной цифрой.

Вывод: Животноводство отвечает за приблизительно 14,5% мировых выбросов парниковых газов, хотя фактическое число может быть и выше.

### **2018: Каталог выбросов продуктов питания**

В 2018 году исследователи под руководством Джозефа Пура из Оксфордского университета провели масштабное исследование воздействия различных продуктов питания на окружающую среду. В исследование были включены данные почти 40 000 ферм и 1 600 переработчиков. Хотя исследование не сосредоточивалось исключительно на сравнении овощей и мяса, результаты показали, что даже наименее загрязняющие продукты животного происхождения имеют больший экологический след, чем рас-

тительные альтернативы. Исследование также привело к решению ведущего исследователя Джозефа Пура стать веганом.

Вывод: Переход на растительную диету является одним из самых эффективных способов уменьшения воздействия на окружающую среду.

### **2018: Сокращение выбросов продуктов питания для достижения целей потепления на 1,5°C**

Отчеты от организаций GRAIN и Институт сельскохозяйственной и торговой политики (IATP) в 2018 году оценили выбросы от конкретных мясных и молочных компаний и их влияние на климат до 2050 года. Эти отчеты выявили, что около 90% мясных компаний занижают свои выбросы и что их обычный рост приведет к невозможности удержать глобальное потепление ниже 1,5°C. Позднее в том же году Институт мировых ресурсов также опубликовал отчет о необходимости сокращения пищевых отходов и потребления красного мяса.

Вывод: Мясные и молочные корпорации отвечают за значительные выбросы парниковых газов, и их текущая деятельность представляет угрозу для достижения климатических целей.

### **2022: Влияние переработанного растительного мяса**

Исследования, основанные на данных 2018 года, изучили 57 000 продуктов, включая обработанные растительные продукты. Результаты показали, что даже переработанные растительные продукты оказывают меньшую нагрузку на окружающую среду по сравнению с продуктами животного происхождения. Например, растительное мясо имеет меньший экологический след, чем мясо, несмотря на его переработанную форму.

Вывод: Растительные продукты, включая переработанные, оказывают меньшее влияние на окружающую среду, чем мясо.

### **2023: Влияние веганской диеты на планету**

В 2023 году исследование, опубликованное в журнале Nature и проведенное исследователями из Оксфорда, изучило влияние различных диет на климат, анализируя данные о питании 55 000 человек в Великобритании и 38 000 фермах по всему миру. Исследование показало, что веганские диеты снижают выбросы парниковых газов на 75%, а также требуют значительно меньше ресурсов, таких как земля и вода.

Вывод: Веганская диета приводит к значительному снижению выбросов парниковых газов и более эффективному использованию ресурсов.

### **2023: Снижение потребления мяса и его эффект**

В 2023 году исследование рассмотрело потенциальные последствия замены половины потребляемого мяса растительными альтернативами к 2050 году. Результаты показали, что такое сокращение могло бы уменьшить выбросы, связанные с продуктами питания, на почти треть, полностью остановить вырубку лесов, избавить 31 миллион человек от голода и замедлить потерю биоразнообразия.

Вывод: Снижение потребления мяса на 50% может значительно снизить выбросы парниковых газов и улучшить состояние планеты.

### **Это все исследования?**

Нет. Хотя это одни из самых цитируемых исследований, наука о выбросах, связанных с продуктами питания, продолжает развиваться в подтверждающих документах, небольших исследованиях, коллаборациях и анализе данных.

Некоторые другие исследования изолируют определенные области. В статье 2022 года рассматривалось, что произойдет, если все в Нью-Йорке станут веганами, и выбросы, основанные на потреблении в городе, сократятся более чем вдвое. В другой статье в Новой Зеландии было обнаружено, что устойчивые диеты с низким содержанием мяса значительно уменьшают воздействие страны на окружающую среду, но обойдутся немало дороже для богатых домохозяйств.

И спор о том, сколько именно сельскохозяйственных животных вносят в глобальные выбросы, продолжает обсуждаться – в одной статье говорится, что должно быть более 16,5 процентов, в то время как в другой говорится, что выбросы метана постоянно недооцениваются, а сельскохозяйственные животные вносят больший вклад, чем модели ООН. Другие ученые говорят, что восстановление дикой природы земель, которые в настоящее время используются сельскохозяйственными животными, компенсировало бы 68 процентов выбросов в этом столетии.

Пока эти крошечные процентные различия продолжают обсуждаться, в академических кругах разгорелся более важный вопрос: что с этим делать? Налоги на мясо, инвестиции в альтернативные белки, стимулирование фермеров переходить от животных к растениям... множество потенциальных решений, но все они нуждаются в общественной поддержке.

### **Регенеративное сельское хозяйство**

Регенеративное сельское хозяйство включает методы, такие как покровные культуры и ротационный выпас, которые считаются устойчивыми. Однако метаанализ показал, что такие методы не всегда компенсируют выбросы метана и требуют больше земли и воды. Некоторые исследования также указывают на то, что восстановление дикой природы на освобожденных землях может быть более эффективным для компенсации углеродных выбросов.

### **Кормление коров морскими водорослями**

Исследования показывают, что добавление морских водорослей в рацион коров может сократить выбросы метана на 28%, но эффект ограничен временем. Коровы, особенно те, которые разводят на мясо, могут проводить часть своей жизни на пастбище, что ограничивает пользу от добавок.

### **Местное производство и климат**

Покупка мяса от местных фермеров может немного снизить выбросы, связанные с транспортировкой, но это лишь малая часть проблемы. Основное влияние оказывают выбросы метана и использование земли, что не зависит от расстояния транспортировки.

### **Заключение**

Существуют убедительные доказательства того, что производство мяса и молочных продуктов оказывает значительное негативное воздействие на климат. Переход на растительные диеты и сокращение потребления мяса являются одними из наиболее эффективных способов снижения этого воздействия. Исследования показывают, что изменение рациона питания может сыграть ключевую роль в борьбе с изменением климата.

## **Методы и способы адаптации к изменению климата**

### **Внесение биоугля в почву назвали эффективной климатической практикой<sup>18</sup>**

К концу века можно снизить среднемировую температуру почти на два процента, а водопотребление — почти на три, если добавлять в сельскохозяйственные почвы биоуголь. Его внесение позволит повысить урожайность и поглощать до 2,8 миллиарда тонн углерода ежегодно. Такие прогнозы содержит исследование, результаты которого опубликованы в журнале *Environmental Research Letters*.

Если сжечь практически любую биомассу (навоз, древесину или органические отходы) при относительно низкой (менее 700 градусов) температуре без доступа кислорода, то можно получить биоуголь. Это пористый, устойчивый к разложению материал, который используют в качестве сорбента при фильтрации или вносят в почву, чтобы улучшить ее физические свойства. Помимо того, что биоуголь помогает удерживать в почве влагу и элементы питания, он может также длительно хранить углерод и предотвращать его возврат в атмосферу, поэтому его рассматривают как один из методов ограничения глобального потепления.

Ученые под руководством Канделарии Бергеро из Объединенного исследовательского института глобальных изменений в Мэриленде сделали прогноз того, как повлияет практика внесения биоугля в почвы в XXI веке на изменение климата. Они использовали глобальную модель GСAM 5.3, которая учитывает землепользование, экономику, потребление ресурсов и изменение климата.

Анализ показал, что путем внесения 10-20 тонн биоугля на гектар менее чем пяти процентов почв, задействованных в сельском хозяйстве, можно дополнительно поглощать до 2,8 миллиарда тонн углерода каждый год. У этой практики будут и сопутствующие выгоды для сельского хозяйства: рост урожайности на 10-19 процентов и снижение общего потребления воды на 0,1-3 процента к концу века. В некоторых местах биоуголь сможет стимулировать богарное земледелие вместо орошаемого. Наиболее выраженными такие эффекты будут в тропических регионах, где авторы

---

<sup>18</sup> Источник: <https://nplus1.ru/news/2024/07/12/biochar-carbon-planting> Опубликовано 12.07.2024

предлагают сосредоточить усилия по внесению биоугля. Их потенциальный климатический эффект ученые оценивают в снижение средней температуры на 0,5-1,8 % к 2100 году.

Биоуголь может использоваться не только для климатической адаптации, но и как материал с полезными для строительства свойствами. Например, если добавить в смесь для бетона 15 процентов кофейного биоугля вместе с песком, то бетон будет прочнее на треть. Это перспективный способ снизить как количество органических отходов, так и темпы добычи природного песка.

## **Ученые предлагают построить барьеры вокруг самых уязвимых ледников мира<sup>19</sup>**

За последние несколько десятилетий ученые-землеведы боролись с концепцией солнечной геоинженерии: например, охлаждение быстро нагревающейся планеты путем впрыскивания частиц высоко в атмосферу для отражения солнечного света. Теперь исследователи предлагают новый способ борьбы с последствиями изменения климата, который может оказаться еще более дорогостоящим и спорным: ледниковая геоинженерия, призванная замедлить повышение уровня моря.

В официальном документе, опубликованном гляциологами, которые в течение 10 месяцев проводили серию семинаров и общественных собраний, содержится призыв к активизации исследований смелых планов защиты уязвимых ледяных щитов путем возведения вокруг них гибких барьеров или глубокого бурения для замедления их соскальзывания в море.

Но эти непроверенные идеи вызывают негативную реакцию среди гляциологов, некоторые из которых считают их не только нелепо дорогими и логистически несовершенными, но и отвлекающими от проблемы сокращения выбросов парниковых газов. «Я честно чувствую, что в конечном итоге это станет гражданской войной в сообществе», — говорит Джереми Бассис, гляциолог из Мичиганского университета. «Я не вижу большого пространства для компромисса».

---

<sup>19</sup> Источник: <https://dosuga.net/news/57108-uchenye-predlagajut-postroit-barery-vokrug-samyh-ujazvimyh-lednikov-mira.html> Опубликовано 13.07.2024

При нынешних темпах глобальное потепление заставит прибрежные города бороться с повышением уровня моря примерно на 1 метр к 2100 году, согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата за 2021 год. Но некоторые исследователи предсказывают худшее, предупреждая, что ледяные щиты на вершине Гренландии и Антарктиды, которые в совокупности хранят достаточно воды, чтобы вызвать еще большее повышение уровня мирового океана на многие метры, уже прошли критические точки. Они говорят, что даже если человечество сократит выбросы и потепление замедлится, эти ледяные щиты все равно могут разрушиться в ближайшие столетия. Сторонники геоинженерии говорят, что было бы лучше начать исследования сейчас о том, как остановить повышение уровня моря у его источника, а не тратить миллиарды и миллиарды долларов на возведение стен в прибрежных городах. «В какой-то момент вы должны подумать: «Ну, есть ли что-то еще, что мы можем сделать?» — спрашивает гляциолог Джон Мур из Университета Лапландии, автор белой книги, спонсором которой выступил Чикагский университет (UC).

Одна из идей, исследованных Муром и освещенных в отчете, заключается в строительстве плавучих «занавесок», закрепленных на морском дне за краем шельфовых ледников и ледников, чтобы блокировать естественные потоки теплой воды, которые разрушают ледяные щиты снизу. (Особенно в Антарктиде, потепление океанской воды представляет большую угрозу для ледников, чем потепление воздуха.) Ранние проекты предусматривали использование пластика, но сейчас рассматриваются натуральные волокна, такие как холст и сизаль, чтобы избежать проблем с загрязнением. Согласно белой книге, первоначальные исследования моделирования показывают, что высота завес, простирающихся только частично от морского дна у побережья западной Антарктиды, может сократить таяние ледников в 10 раз в некоторых местах. Другое вмешательство, которое рассматривают некоторые ученые, — замедлить скольжение ледяных щитов путем сверления отверстий в их основаниях и откачки воды или тепла.

Такие масштабные инженерные усилия, несомненно, станут одними из самых дорогих, когда-либо предпринимавшихся человечеством. На семинаре в Калифорнийском университете в октябре 2023 года исследователи предположили, что строительство 80 километров завес вокруг антарктических ледников может обойтись в 88 миллиардов долларов. Вмешательства также потребуют международной политической поддержки, которую некоторые гляциологи считают еще большим препятствием, чем цена.

Твила Мун, гляциолог из Национального центра данных по снегу и льду США, говорит, что такие проекты потребуют флота ледоколов, обширных потребностей в судоходстве и цепочке поставок, а также значительного персонала для строительства, обслуживания и охраны финальных конструкций — в условиях океана, которые она называет «невероятно сложными». Проекты также могут повлечь за собой непредвиденные последствия, потенциально нарушая схемы циркуляции океана или подвергая опасности дикую природу. Более того, потребуются десятилетия, чтобы выяснить, работают ли вмешательства.

«Даже если бы инженерные и логистические решения были возможны, это «не дает ответа на вопрос, следует ли их реализовывать», — говорит Мун, выступающий даже против предварительных исследований этих концепций.

Когда идеи были представлены исследователям в течение прошлого года, обсуждения порой были спорными. На семинаре в Стэнфордском университете в декабре 2023 года участников попросили надеть шнурки, представляющие их точки зрения на исследования ледниковой геоинженерии: красный для противников, синий для сторонников и фиолетовый для нерешительных. Ли Стернс, гляциолог из Университета Канзаса, говорит, что изначально она была одной из немногих участников, носивших красный цвет. К концу семинара все больше людей сменили шнурки, чтобы присоединиться к ней.

В белой книге признаются некоторые из распространенных аргументов против ледниковой геоинженерии, включая то, что она может помешать сокращению выбросов углерода. Отчет, в котором также подчеркивается важность сокращения выбросов, прилагает усилия, чтобы заявить, что он «не выступает за вмешательство; скорее, он выступает за исследование того, могут ли какие-либо вмешательства быть жизнеспособными».

Но некоторые гляциологи не убеждены в различии между поддержкой геоинженерии и поддержкой ее исследований. «Я думаю, реальность такова, что большинство людей, которые в конечном итоге займутся геоинженерными исследованиями, сделают это, потому что это увеличит вероятность того, что геоинженерия действительно произойдет», — говорит Алекс Робель, гляциолог из Технологического института Джорджии.

Но Дэвид Кит, директор инициативы по климатическим системам в Калифорнийском университете и ведущий эксперт в области солнечной геоинженерии, называет это различие «совершенно критически важным». По мере того, как все больше исследователей осторожно вступают в исследования солнечной геоинженерии, если не в ее реализацию, Кит счита-

ет, что все меньше и меньше ученых будут выступать против исследований чистой ледниковой геоинженерии.

Робель говорит, что было бы «глупо» не принимать исследовательское финансирование от инициатив по геоинженерии для работы над чисто теоретическими вопросами, такими как моделирование смещения ледяного покрова. Но другие, такие как Мун и Стернс, говорят, что они не будут заниматься ледниковой геоинженерией ни на каком уровне, включая принятие исследовательского финансирования или посещение будущих семинаров.

## **Ученые работают над отчаянным планом по «обратной заморозке» Арктики<sup>20</sup>**

Стартап из Нидерландов «Arctic Reflections» работает над масштабированием технологий по созданию ледовых катков. Их цель – «заморозить обратно» весь Арктический регион, чтобы остановить таяние льдов. И тем самым если не предотвратить, то хотя бы замедлить глобальное потепление.

Изменения мирового климата наиболее заметны именно в Арктике, где значительно ускорилось таяние вечных льдов. Что хорошо для судоходства, то плохо для экологии — поэтому и возникло предложение провести эксперимент планетарного масштаба. А именно – попытаться рукотворным путем обратить процесс таяния льдов вспять и увеличить их количество.

Лед, пока он чистый и белый, очень хорошо отражает солнечный свет, при этом не нанося вреда окружающей среде. Поэтому вместо того, чтобы разбрасывать сотни тонн стеклянных шариков для отражения солнечного света, как планировалось ранее, ученые намерены сосредоточить усилия на создании новых ледовых полей. Для этого они собираются выкачивать воду из глубоких слоев на поверхность в морозы, чтобы она там превращалась в лед.

---

<sup>20</sup> Источник: <https://www.techcult.ru/science/13899-uchenye-rabotayut-nad-planom-po-obratnoj-zamorozke> Опубликовано 11.06.2024

Пока что это лишь гипотетический проект, который вряд ли получит шанс на реализацию — это исключительно дорогое и хлопотное занятие. Но важнее другое – человечество все чаще вынуждено прибегать к методам геоинженерии и вручную менять среду, в которой обитает. И если ранее это касалось только региональных проектов, то теперь ученые все чаще говорят о необходимости глобальных воздействий на климат планеты.

## **Стартап похоронит 100 тонн углерода на глубине 1 км под землей<sup>21</sup>**

Стартап 44.01 объявил о завершении раунда финансирования серии А на сумму \$37 млн. Компания планирует внедрить технологию закачки углекислого газа в породы, расположенные на глубине до 1 км. Этот инновационный подход способен сократить количество CO<sub>2</sub> в атмосфере, помогая в борьбе с изменением климата.

Исследователи разработали метод, при котором CO<sub>2</sub> сначала растворяют в жидкости, а затем закачивают в глубокие геологические слои. Обогащенная углеродом жидкость распространяется в породу глубоко под землей. Эта кислая жидкость контактирует с горными породами, она растворяет минералы.

Ионы материалов, которые реагируют с углекислым газом, быстро формируют твердые карбонаты. Это решение не только безопасно, но и долговечно, заявляют представители компании: углерод остается запечатанным в породе на протяжении тысяч лет.

Проект уже прошел тестирование в Омане и показал эффективность. Стартап планирует в ближайшие годы значительно расширить масштабы операций, увеличивая объемы захоронения углерода. Первая цель — достичь отметки в 100 т углерода, захороненного на глубине 1 км, с последующим увеличением объемов по мере совершенствования технологии.

Предложенный метод может стать важным инструментом для достижения глобальных целей по снижению выбросов парниковых газов. В условиях, когда страны и компании намерены достичь углеродной

---

<sup>21</sup> Источник: <https://hightech.fm/2024/07/15/co-into-earth> Опубликовано 15.07.2024

нейтральности, технология захоронения углерода поможет в поддержании баланса.

Стартап надеется на привлечение инвестиций и сотрудничество с международными организациями и правительствами для ускорения внедрения своей технологии. Если проект окажется успешным, он может стать частью глобального решения проблемы изменения климата, способствуя созданию устойчивого будущего для планеты.

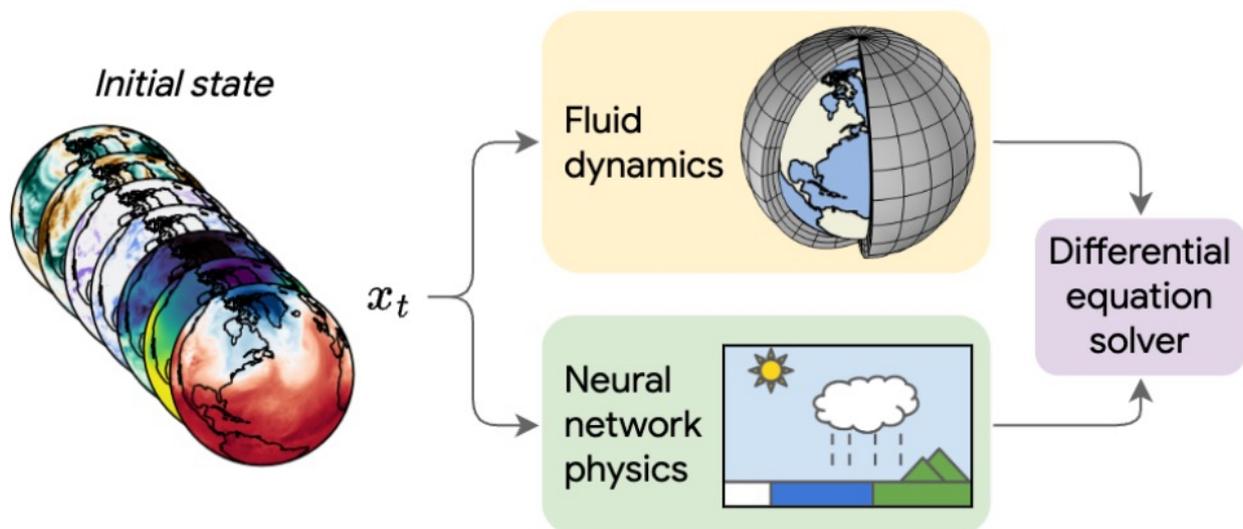
## **Модель прогноза погоды NeuralGCM позволит тысячекратно сэкономить вычислительные мощности<sup>22</sup>**

Группа ученых из исследовательского центра Google Research под руководством Дмитрия Кочкова разработала и обучила гибридную климатическую модель Neural Global Circulation Model — NeuralGCM. Модель может предсказывать погоду на период от одного до 15 дней, используя на три-пять порядков меньше вычислительного времени, чем классические физические модели. При этом она точно отражает вертикальную структуру геострофического и агеострофического ветров, смогла воспроизвести важные атмосферные явления (например, муссоны и ячейку Хэдли) и точно отразила потепление климата в сорокалетней симуляции. Описание модели и результаты ее обучения опубликованы в журнале Nature.

NeuralGCM сочетает в себе динамическое ядро с физическим модулем для решения уравнений и нейросеть, которая моделирует осадки, образование облаков и радиационный перенос, то есть объединяет подход классических физических моделей (таких, как ECMWF) и современных моделей на основе машинного обучения (таких, как GraphCast). По всем параметрам NeuralGCM показала более высокую точность, чем другие модели с машинным обучением, но несколько уступала физическим моделям. При этом она работала с горизонтальным разрешением, в 8-40 раз более грубым, чем ECMWF (не менее 0,7 градуса), что позволяло существенно экономить вычислительные мощности.

---

<sup>22</sup> Источник: <https://nplus1.ru/news/2024/07/22/neural-gcm> Опубликовано 22.07.2024



## Как города адаптируются к волнам тепла с помощью инновационных решений<sup>23</sup>

В городах и мегаполисах температура всегда выше по сравнению с окружающими их сельскими районами. Это вызвано плотной застройкой, наличием большого количества поверхностей из бетона и асфальта, а также высокой концентрации источников тепла — автомобилей, промышленных предприятий и другими. Не удивительно, что во время волн жары температуры в городах часто достигают самых высоких значений. Из-за изменения климата волны тепла происходят все чаще и становятся все более интенсивными.

Но такие города, как, например, Сидней, Париж и Лос-Анджелес, разрабатывают и внедряют различные способы, чтобы их жители чувствовали себя немного прохладнее. Эти решения разнообразны и включают в

<sup>23</sup> Источник: <https://leworld.org/tpost/i0u2hhraa1-kak-goroda-adaptiruyutsya-k-volnam-tepla> Опубликовано 19.08.2024

себя установку большего числа теневого навесов, создание садов на крышах или покраску дорожного покрытия светоотражающей белой краской. Вот только семь примеров.

### **«Политика тени» в Севилье**

Летом в этом испанском городе температура достигает 40°C. Неудивительно, что Севилья стала первым городом в мире, где волны тепла стали классифицировать и давать им названия по примеру того, как в США или некоторых азиатских странах делают это с ураганами.

Чтобы справиться с усиливающейся жарой, по всему городу установили большое количество навесов. «Мы называем это политикой создания тени», — сообщил агентству Bloomberg мэр города Антонио Муньос. «Это лишь одна из многих мер, которые нам нужно осуществлять, если мы хотим иметь возможность пользоваться улицами — от играющих детей до людей, которые хотят сделать покупки или просто посидеть на улице и пообщаться».

Власти Севильи также ежегодно стали высаживать по 5000 деревьев. Среди других мер — переход на строительные материалы, отражающие тепло, и установка большего количества общественных фонтанов.

### **План по озеленению Сиднея**

Власти крупнейшего города в Австралии – Сиднея — планируют значительно увеличить площадь древесного покрова в самом мегаполисе и в районе Большого Сиднея, охватывающего 1,3 млн гектар, путем посадки дополнительных 5 млн деревьев к 2030 году.

Деревья помогают охлаждать города, обеспечивая тень и влагу. Они также естественным образом поглощают и хранят углекислый газ, что помогает бороться с изменением климата.

### **Эксперимент с отражающей краской в Лос-Анджелесе**

В Лос-Анджелесе, США, городские власти начали экспериментировать с покраской улиц в белый цвет еще в 2019 году. Белая краска призвана отражать солнечные лучи, охлаждая поверхность и окружающую территорию.

По данным веб-сайта Reasons to be Cheerful, на данный момент отражающей краской были покрашены десять улиц в десяти разных районах мегаполиса. В жаркие дни белая краска позволяет поверхности не нагре-

ваться и, по данным мониторинга, даже способствует охлаждению окружающей территории.

### **Самозатеняющиеся башни в Абу-Даби**

Существуют прогнозы, согласно которым изменение климата может привести к повышению средней температуры в Абу-Даби (Объединенные Арабские Эмираты) выше 50°C во второй половине века. Такие экстремальные условия и аномальная жара могут сделать город непригодным для жизни.

Среди возможных решений стоящей проблемы — инновационный дизайн зданий. Одним из примеров таких архитектурных новшеств являются башни Аль-Бахар. 26-этажные здания оснащены управляемыми компьютером складными экранами, которые открываются и закрываются, обеспечивая тень в зависимости от положения солнца.

### **Париж создает «острова прохлады»**

В августе 2022 года аномальная жара по всей Франции побила температурные рекорды, а температура в Париже достигла 36°C. Исследование, проведенное в апреле 2023 года, показало, что в Париже самый высокий относительный риск смертности, связанный с жарой, среди 854 европейских городов.

Власти Парижа борются с эффектом «островов тепла» и волнами жары, в том числе, создавая 800 пространств — «островов прохлады» по всему городу. Найти их можно с помощью специального приложения. Среди прочего эти городские пространства, где можно найти прохладу, включают парки, фонтаны и даже общественные здания, такие как бассейны и музеи. В этих местах обычно на 2–4 градуса прохладнее, чем на близлежащих улицах. В Париже также планирует посадить 170 000 деревьев к 2026 году.

### **Зеленые крыши Роттердама**

Создание «зеленых крыш» путем высадки на них растений, может помочь городам сохранять прохладу, и Роттердам в Нидерландах недавно продемонстрировал это с помощью инициативы Rotterdam Rooftop Walk. Город надеется озеленить более 900 000 квадратных метров крыш. Засаженные растительностью, такие крыши также способны помочь в борьбе с наводнениями при сильных ливнях.

По данным Агентства по охране окружающей среды США, зеленые крыши могут снизить температуру окружающей среды в городе на несколько градусов Цельсия.

### **Меделин создает зеленые коридоры для горожан**

В Колумбии, власти второго по величине города страны, Меделин, создали для борьбы с волнами тепла сеть из 30 тенистых маршрутов по всему городу, известных как «зеленые коридоры». По данным агентства Reuters, вдоль тротуаров, в парках и на оживленных транспортных магистралях были высажены тысячи местных деревьев, а также пальмы, бамбук и некоторые тропические растения, что позволило создать своеобразные затененные коридоры и пространства для тех, кто хочет прогуляться или проехать по городу или просто собраться и пообщаться.

## Климат и здоровье

### Изменения климата подтолкнули ученых к изучению температуры предела выживания человеческого тела<sup>24</sup>

Поскольку изменение климата приводит к нагреванию Земли, жаркие дни стали обычным явлением в сводках погоды по всему миру. В июле рекорд самого жаркого дня в мире был побит дважды.

Около 70 процентов мировой рабочей силы в настоящее время подвергаются высокому риску из-за сильной жары.

«Проблема в том, что сегодня условия могут показаться жаркими, но мы на самом деле не знаем, как это отразится на людях, — объясняет Олли Джей. — Моделируя эти условия и подвергая людей их воздействию под тщательным медицинским наблюдением, мы можем лучше понять физиологию реакции человека».

Команда Джей использует современную климатическую камеру для изучения условий, при которых жара угрожает жизни, а также того, как и какие практические, научно обоснованные способы сохранения прохлады существуют.

Камера представляет собой помещение размером 4 на 5 метров, где возможно повышать или понижать температуру на 1 градус по Цельсию каждую минуту, а также регулировать скорость ветра и имитировать солнечный свет с помощью инфракрасных ламп.

Участники эксперимента могут есть, спать и заниматься физическими упражнениями внутри камеры; исследователи передают им еду и другие предметы через люк. Прикрепленные к ним датчики отправляют информацию в соседнюю диспетчерскую, которая обрабатывает данные о таких переменных как частота сердечных сокращений, дыхание, потоотделение и температура тела.

По словам Джей, в качестве предела выживания человека модель использовала температуру в 35 градусов по Цельсию. При достижении этого порога внутренняя температура тела будет неконтролируемо повышаться.

---

<sup>24</sup> Источник: <https://ecoportal.su/news/view/126104.html> Опубликовано 19.08.2024

Но тогда ученые рассматривали человеческое тело как обнаженный объект, который не потеет и не двигается.

В исследовании, проведенном ещё в 2021 году, исследователи представили более точную оценку: предел выживаемости составляет около 31 градуса по Цельсию. Они рассчитали его, отслеживая температуру тела молодых здоровых людей при различных сочетаниях температуры и влажности во время езды на велосипеде.

Команда Джей тестирует математическую модель того, как организм справляется с экстремальной жарой. Большинство результатов реакции организма на жару фокусируются на молодых, здоровых людях, находящихся в тени. Но модель Джей позволила оценить пределы выживания в тени и на солнечном свете в зависимости от возраста, а также во время отдыха или физических упражнений. Среди своих результатов они оценили пределы выживаемости в диапазоне от 26 до 34 градусов по Цельсию для молодых людей и от 21 до 34 градусов по Цельсию для пожилых людей.

В будущих испытаниях исследователи планируют проверить реакцию организма на высокую температуру в тенистых и освещенных солнцем условиях, в любом возрасте и во время физических упражнений.

Другая задача лаборатории — поиск эффективных стратегий охлаждения — заключается в имитации условий окружающей среды, где высокая температура может повлиять на здоровье работников. В ходе одного из испытаний команда Джея тестировала стратегии охлаждения, которые могли бы помочь работникам швейных фабрик в Бангладеш, где люди, как правило, подолгу работают в жарком климате, не имея доступа к кондиционерам.

«Мы воссоздали эти условия в помещении и работу, которую выполняли люди — женщины шили, а мужчины гладили, — рассказывает исследователь. — Участники эксперимента были одеты в одежду, которую обычно носят рабочие на фабрике».

Ученые обнаружили, что во влажных условиях использование вентиляторов снижает нагрузку на сердце до температуры воздуха не ниже 38 градусов по Цельсию. Но в сухую жару использование вентилятора увеличивает нагрузку на сердце. Увлажнение кожи полезно как в сухую, так и во влажную жару.





Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати  
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,  
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

**[sic.icwc-aral.uz](http://sic.icwc-aral.uz)**