



Проверка "здоровья" Земли

Научная оценка состояния нашей планеты.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

20
24



Planetary Boundaries
SCIENCE



2024

**Planetary Boundaries
SCIENCE**

Благодарности

Авторы: Levke Caesar*, Boris Sakschewski*, Lauren Seaby Andersen, Tim Beringer, Johanna Braun, Donovan Dennis, Dieter Gerten, Adrian Heilemann, Jonas Kaiser, Niklas H. Kitzmann, Sina Loriani, Wolfgang Lucht, Josef Ludescher, Maria Martin, Sabine Mathesius, Anja Paolucci, Sofie te Wierik, Johan Rockström (*внесли равный вклад в эту работу и указаны как соавторы)

Искусство и фигуры: Globaïa

Спасибо коллегам из PIK, которые добровольно потратили свое время на создание этого перевода: Светлана Боцюн, Юлия Юнгер

Под редакцией: Planetary Boundaries Science (PBScience)



Planetary Boundaries Science – это международное научное партнерство, созданное в конце 2023 года для проведения ежегодных проверок "здоровья" планеты, а также для развития фундаментальных научных знаний и обеспечения современной и эффективной научной коммуникации. **PBScience** совершенствует оценки планетарных границ путем: **а)** применения передовых методов анализа данных; **б)** использования новейших доступных научных данных; **в)** совершенствования моделирования системы Земли; **г)** использования современных комплексных средств коммуникации для донесения своих идей до широкой аудитории. Тесно сотрудничая с **Planetary Guardians**, PBScience стремится привлечь внимание мировой общественности и стимулировать действия, направленные на сохранение стабильности планеты.

Для связи: PBScience@pik-potsdam.de



© **Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)**; Member of the Leibniz Association, Telegraphenberg A 31, 14473 Potsdam, Germany; 2024

Краткое содержание

Этот первый ежегодный отчет знаменует собой важный шаг в мониторинге и защите стабильности, устойчивости и жизнеобеспечивающих функций Земли – того, что мы называем «планетарным здоровьем». Наше недавно созданное и быстро развивающееся международное научное сообщество, названное “Наука о планетарных границах” (Planetary Boundaries Science (PBScience)), работает над совершенствованием концепции планетарных границ (ПГ), внедряя новые методы и получая новые данные, а также способствуя инновационной научной коммуникации.

Концепция планетарных границ представляет собой аналитическую и мониторинговую систему, охватывающую девять процессов и систем, которые регулируют “здоровье” нашей планеты. Каждый из этих процессов, таких как изменение климата или закисление океанов, в настоящее время оценивается по одному или двум контрольным переменным. Отчет о состоянии планетарного “здоровья” за 2024 год показывает, что шесть из девяти процессов планетарных границ превысили безопасные уровни, при этом все шесть процессов демонстрируют тенденции к усилению воздействия на все контрольные переменные, что предполагает дальнейшее превышение границ в ближайшем будущем (Рис. 1).

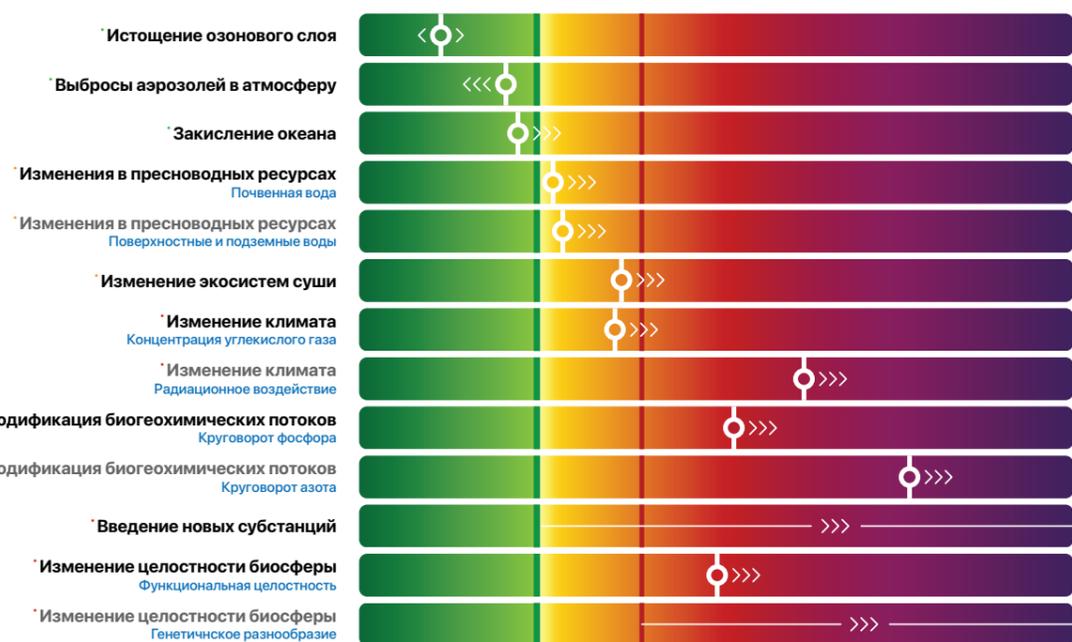


РИСУНОК 1. Планетарное здоровье: краткий обзор. Подобно тому, как анализ крови дает представление о состоянии здоровья человека и выявляет проблемные области в сфере здоровья, данный отчет о состоянии планетарного здоровья оценивает 13 контрольных переменных для 9 процессов связанных с планетарными границами с целью заключения о стабильности, устойчивости и функционировании жизни на Земле – общем “здоровье” нашей планеты. По оценкам 2024 года, шесть из девяти планетарных границ уже превышены: изменение климата, целостность биосферы, изменение экосистем суши, изменения в пресноводных ресурсах, модификация биогеохимических потоков и введение новых субстанций. Все эти границы демонстрируют тенденцию к увеличению, что предполагает дальнейшее превышение в ближайшем будущем. Три планетарные границы остаются в пределах безопасной зоны: закисление океанов (тенденция к увеличению, близкая к границе), выбросы аэрозолей в атмосферу (глобальная тенденция к снижению) и истощение стратосферного озонового слоя (отсутствие тенденции). На данной диаграмме представлено распределение всех значений тринадцати контрольных переменных. Эта диаграмма является символом мониторинга планетарного здоровья.

Шесть планетарных границ, превысивших безопасные уровни:



Изменение климата: Уровень CO₂ в атмосфере достиг максимума за последние 15 миллионов лет. При этом, продолжается рост глобального радиационного воздействия, с устойчивой тенденцией к увеличению, что привело к потеплению, произошедшему с конца 20 века. Средние глобальные температуры сейчас выше, чем в любое время с момента появления человеческой цивилизации на Земле.



Изменение целостности биосферы: Глобальная потеря генетического разнообразия и функциональной целостности (измеряется как энергия, доступная для экосистем) превышают безопасные уровни, особенно в регионах с интенсивным сельскохозяйственным использованием земель. Значительное снижение целостности биосферы вызывает обеспокоенность из-за потери устойчивости, адаптивности и способности биосферы реагировать на различные воздействия, включая те, которые связаны с увеличением других планетарных границ.



Изменение экосистем суши: В результате сельскохозяйственного использования земель и, все чаще, из-за изменения климата как на глобальном так и на региональном уровнях, леса последовательно сокращаются на протяжении последних нескольких десятилетий во всех основных лесных биомах. Большинство регионов уже находятся в зоне высокого риска, значительно превышая свои безопасные уровни, в то время как некоторые области только недавно вышли из безопасных уровней (например, умеренные и тропические регионы Америки).



Изменения в пресноводных ресурсах: Локальные отклонения в потоках рек и влажности почвы значительно возросли с конца XIX века, превысив соответствующие планетарные границы в начале XX века. Увеличение изменчивости и нестабильности глобальных пресноводных и наземных водных систем вызывает растущую обеспокоенность по поводу управления водными ресурсами и экологической стабильности.



Модификация биогеохимических потоков: Использование фосфора и азота в сельском хозяйстве превысило безопасные границы, приводя к значительным экологическим изменениям. Превышение этих границ вызвало серьезные экологические последствия, такие как загрязнение вод, эвтрофикация, вредоносные цветения водорослей и «мертвые зоны» в пресноводных и морских экосистемах. Эта проблема давно актуальна в промышленно развитых странах и становится все более актуальной для развивающихся регионов.



Введение новых субстанций: Введение новых субстанций – таких как синтетические химикаты, пластмассы и генетически модифицированные организмы – происходит в огромных масштабах, но значительная часть этих веществ остается непроверенной с точки зрения воздействия на окружающую среду. Это говорит о вероятности превышения границы, хотя точные данные остаются неопределенными. Новые субстанции могут нарушить критические процессы в системе Земли (например, фреоны значительно повредили озоновый слой), навредить экосистемам (например, пестициды вызвали значительное снижение популяций насекомых и опылителей) и привести к долгосрочным и, возможно, необратимым изменениям в окружающей среде, включая загрязнение почв и водоемов и изменение естественных сред обитания.

Несмотря на то, что закисление океанов близко к превышению своей планетарной границы, три процесса планетарных границ остаются в пределах безопасной зоны:



Закисление океанов: Закисление океанов приближается к критическому порогу, с существенным снижением насыщенности поверхностного арагонита, особенно в высокоширотных регионах, таких как Арктика и Южный океан. Эти районы играют ключевую роль в функционировании морского углеродного цикла и глобальных циклов питательных веществ, которые поддерживают морскую продуктивность, биоразнообразие и мировое рыболовство. Усиливающееся закисление представляет все большую угрозу для морских экосистем, особенно тех, в которые входят морские организмы формирующие свою раковину из карбоната кальция.



Выбросы аэрозолей в атмосферу: Разница в оптической толщине аэрозолей между полушариями уменьшается, что свидетельствует о движении к более безопасным уровням, хотя некоторые региональные модели показывают противоположные тенденции. Аэрозоли влияют на энергетический баланс Земли, отражая солнечный свет обратно в космос и влияя на формирование облаков. Это воздействует на глобальные и региональные климатические системы, включая регулирование температуры, осадков и распределение солнечной энергии. Управление уровнями аэрозолей важно для поддержания стабильности климатической системы Земли и предотвращения изменения, которые могут нарушить погодные условия и экосистемы.



Истощение стратосферного озонового слоя: Восстановление озонового слоя находится на плато, при этом наблюдаются разнонаправленные тенденции и сохраняются проблемы, связанные с ликвидацией антарктической озоновой дыры. Стратосферный озоновый слой играет важную роль в защите Земли от избыточного ультрафиолетового (УФ) излучения. Эта защита необходима для поддержания целостности биологических систем Земли, так как УФ-излучение может нанести вред фитопланктону, нарушить морские экосистемы и изменить рост наземных растений – элементы, которые являются основой глобальной пищевой цепи и углеродного цикла. Стабилизация и восстановление озонового слоя критически важны для сохранения этих взаимосвязанных процессов системы Земли.

Новая эра

Человечество процветало более 10 000 лет в период климатической стабильности и устойчивой системы Земли, что позволило развиваться культуре и передовым технологиям. Однако, как показывает отчет о "здоровье" Земли за 2024 года, мы вступаем в новую опасную эру, отмеченную усилением симптомов нарушения планетарных границ, таких как более частые экстремальные погодные явления, лесные пожары, снижение продуктивности растений и нехватка водных ресурсов. Эти процессы усугубляются все еще растущим населением, которое должно преодолевать беспрецедентные трудности. Помимо этих непосредственных проблем, более серьезная угроза заключается в постепенном ослаблении устойчивости системы Земли. По мере того как мы приближаемся к критическим точкам – и, возможно, пересекаем их (5), эти медленные изменения могут не приводить к резким изменениям, но могут запустить необратимые тенденции, такие как интенсивное повышение уровня Мирового океана уровня мирового океана и самоускоряющиеся процессы, уводящие нас всё дальше от стабильных, похожих на Голоцен условий, жизненно важных для существования человечества.

Взаимосвязанность процессов планетарных границ (взаимосвязи и движущие силы, 3) означает, что решение одной проблемы, например, ограничение глобального потепления до 1,5°C, требует решения всех этих проблем в совокупности. Этот комплексный подход, хотя и кажется сложным, дает возможность превратить то, что выглядит как бремя, в шанс для устойчивого развития. Обращение вспять многочисленных факторов, которые в настоящее время подталкивают системы к критическим точкам, может дать синергетические эффекты сохранения и устойчивости. Немедленные и скоординированные глобальные действия, включая участие правительства, бизнеса и гражданского общества, необходимы для возвращения в безопасное операционное пространство (2) по всем планетарным границам и обеспечения процветающего будущего для людей и планеты (решения, 9).

Движение вперед

В ближайшем будущем наше научное сообщество планирует создать более широкую **Инициативу в области планетарных границ (ИПГ)** в сотрудничестве с растущей сетью партнеров. Данная инициатива направлена на предоставление поддержки принятия решений, чтобы направить глобальное развитие в сторону безопасного операционного пространства, используя концепцию планетарных границ как научную систему, которая направляет политику, стимулирует инновации и способствует трансформационным изменениям.

Для достижения данной цели, предложенная концепция будет играть центральную роль, начиная с ежегодных отчетов, содержащих обновленные данные о науке планетарных границах и прогрессе человечества в достижении их безопасных уровней. Этот подход включает введение новых контрольных переменных, ориентированных на взаимодействие человека и системы, улучшение моделей симуляции Земной системы с использованием искусственного интеллекта для анализа, а также разработку панели мониторинга с данными в режиме реального времени, которые помогут направлять инвестиции и пути достижения безопасности. ИПГ подчеркивает важность общественного осознания и научного понимания, которое должно активно распространяться командой по коммуникациям, чтобы сделать эти знания доступными широкой аудитории.



ГЛОССАРИЙ

Термин на английском	Перевод	Объяснение
Planetary Boundary / Boundaries	Планетарные границы (ПГ)	Планетарные границы определяют пределы, в которых человечество может безопасно действовать, не нанося существенного ущерба окружающей среде. Они являются внешними границами безопасной зоны для человечества, которая обеспечивает сохранение на Земле состояния, подобного голоценовому.
Safe Operating Space	Безопасная зона	Состояние земной системы, позволяющее человечеству развиваться и процветать на протяжении многих поколений и включающие условия окружающей среды, аналогичные тем, что были в эпоху Голоцена.
Zone of Increasing Risk	Зона возрастающего риска	Нарушение границ приводит к тому, что наша планета попадает в «зону возрастающего риска», где вероятность ущерба возрастает по мере продолжения нарушения границ.
High-Risk Zone	Зона высокого риска	Зона, в которой условия значительно отклоняются от безопасных уровней, что создает высокую вероятность серьезного и потенциально необратимого воздействия на окружающую среду.
Whole Earth Approach	Концепция "Земли как целостной системы"	Холистическая точка зрения, которая рассматривает планету как глубоко взаимосвязанную систему - плотную сеть взаимодействующих частей. Этот подход подчеркивает, что при оценке действий человека необходимо учитывать все аспекты (или границы) планеты. Например, успешная борьба с изменением климата возможна только при условии сохранения биосферы в целостности.
Control Variable	Контрольная переменная	Переменная, используемая в качестве репрезентативного индикатора для оценки состояния или условий процесса ПГ. Обычно для мониторинга и оценки состояния границы используется 1-2 контрольные переменные на ПГ.
Planetary Health Check	Проверка "здоровья" Земли	Комплексная оценка состояния планеты в отношении планетарных границ.
Climate Change	Изменение климата	Изменение радиационного баланса Земли - например, за счет накопления парниковых газов в атмосфере.

(Change in) Biosphere Integrity	Изменение целостности биосферы	Уменьшение разнообразия, распространенности и здоровья живых организмов и экосистем.
Land System Change	Изменение экосистем суши	Преобразование природных ландшафтов, например, в результате вырубки лесов и урбанизации.
Freshwater Change	Изменения в пресноводных ресурсах	Изменение глобального гидрологического цикла
(Modification of) Biogeochemical flows	Модификация биогеохимических потоков	Нарушение глобального круговорота питательных веществ - азота и фосфора
Ocean Acidification	Закисление океана	повышения кислотности (снижение pH) океанической воды, в основном из-за поглощения атмосферного CO ₂
Atmospheric Aerosol Loading	Выбросы аэрозолей в атмосферу	Увеличение количества твердых частиц в воздухе в результате деятельности человека или природных источников
Stratospheric Ozone Depletion	Истощение озонового слоя	Истощение озонового слоя в верхних слоях атмосферы, в основном из-за воздействия химических веществ антропогенного происхождения.
Introduction of Novel Entities	Введение новых субстанций	Включение новых факторов включает синтетические химикаты и вещества, антропогенно мобилизованные радиоактивные материалы и вмешательство человека в эволюционные процессы, такие как генетически модифицированные организмы (ГМО) и другие прямые модификации эволюции.
CO ₂ concentration	Концентрация углекислого газа	Концентрация углекислого газа в атмосфере
Radiative Forcing	Радиационное воздействие	Это показатель, характеризующий изменение энергетического баланса в верхних слоях атмосферы. Он отражает, насколько увеличивается или уменьшается количество энергии в климатической системе Земли. Этот показатель учитывает все виды человеческой деятельности, которые влияют на энергетический баланс планеты: выбросы углекислого газа (CO ₂) и других парниковых газов (например, метана и закиси азота), аэрозоли, а также изменения в землепользовании.

Phosphorus Cycle	Круговорот фосфора	Фосфор – это питательное вещество, важное для роста растений, которое применяется на полях в виде удобрения. «Круговорот фосфора» охватывает все природные процессы, связанные с перемещением фосфора между растениями, животными, почвами, горными породами и водными объектами.
Nitrogen Cycle	Круговорот азота	Азот – это питательное вещество, важное для роста растений, которое применяется на полях в виде удобрения. «Круговорот азота» охватывает все природные процессы, связанные с перемещением азота между растениями, животными, почвами, водными объектами и атмосферой.
Green Water	Почвенная вода	Пресная вода, доступная растениям (= влажность почвы)
Blue Water	Поверхностные и подземные воды	Пресная вода, находящаяся в озерах, реках и водохранилищах.
Functional Integrity	Пресная вода, находящаяся в озерах, реках и водохранилищах.	Функционирование жизни на Земле определяется количеством энергии, которую природа поглощает через фотосинтез, что называют «продуктивностью экосистемы». Этот показатель отражает, как человеческая деятельность – например, сельское хозяйство, лесное хозяйство и урбанизация – влияет на продуктивность экосистемы и изымает энергию для производства и потребления.
Genetic Diversity	Генетическое разнообразие	Разнообразие форм жизни на Земле, оцениваемое по числу видов, находящихся под угрозой вымирания или уже вымерших.
Tipping Point	Критическая точка	Критический порог в системе, за которым изменения становятся самоподдерживающимися, приводя к существенным, широко распространенным, часто резким и часто необратимым последствиям.
Tipping Element	Критический элемент	Элемент системы Земли, способный перейти критическую точку, что приведет к значительному и зачастую необратимому изменению его состояния. Примерами являются ледниковые покровы, океанические течения или крупные экосистемы.

Drivers of Transgression	Факторы трансгрессии	Деятельность человека, способствующая превышению или нарушению Планетарных границ (ПГ), в результате которой система Земли выходит из своей Безопасной зоны. Примерами являются сжигание ископаемого топлива, вырубка лесов и загрязнение окружающей среды.
--------------------------	----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------