

Глобальное потепление и роль биоты: противодействие изменениям?

В.С.Фридман, Г.С.Ерёмкин



Tellus B: Chemical and Physical Meteorology



ISSN: (Print) 1600-0889 (Online) journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/zeib20>

Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration

Gary J. Whiting & Jeffrey P. Chanton

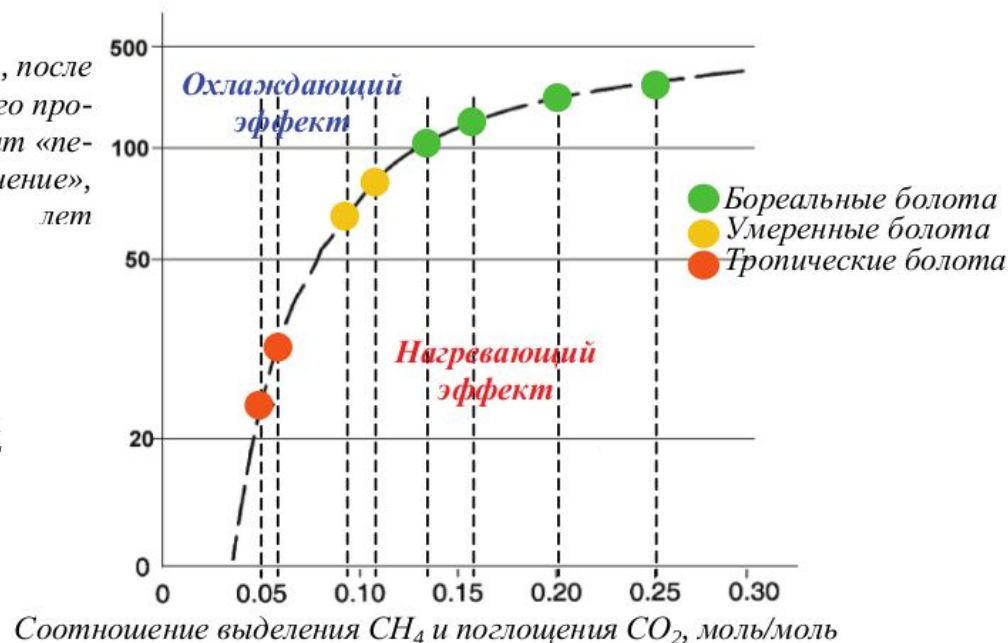
Global Change Biology (2005) 11, 1910–1925, doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01023.x

Carbon dioxide and methane exchange of a north-east Siberian tussock tundra

C. CORRADI*, O. KOLLE*, K. WALTERI, S. A. ZIMOV§ and E.-D. SCHULZE*

*Max-Planck Institute of Biogeochemistry, Box 100164, 07701 Jena, Germany, †UNITUS, University of Tuscia, 01100 Viterbo, Italy, ‡Institute for Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks, Irving Building 1, Fairbanks, AK 99775, USA, §Northeast Scientific Station, Pacific Institute for Geography, Far-East Branch of RAS, republic of Sakha, Yakutia, 678830 Cherskii, Russia

Период, после которого происходит «переключение», лет



Рабочая гипотеза: биота, и прежде всего растительность, реагирует на выбросы CO_2 гомеостатически, меняется так, чтобы нейтрализовать их последствия. И мы будем наблюдать экспансию «полос» и пятен биомов с большей фитомассой и большей долей болот в структуре ландшафта, т. к. они в основном выводят С из круговорота



Рис. 4.14

Схема зависимости интенсивности фотосинтеза и дыхания от температуры (по В. Лархеру, 1978)

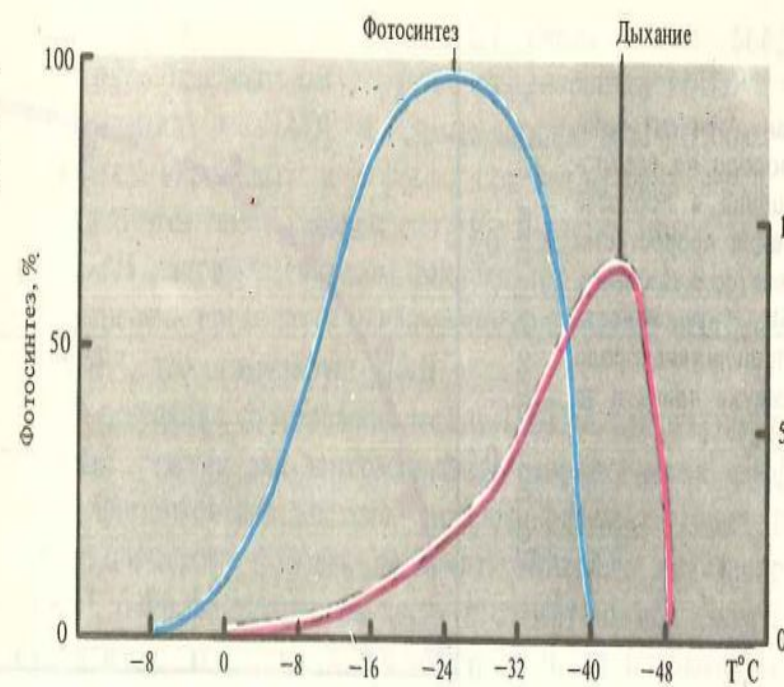


Рис. 4.15

Зависимость положения температурных оптимумов дыхания (отмечены стрелками) от длительности нагрева листьев гречишки сахалинской (по О. А. Семихатовой, 1960)

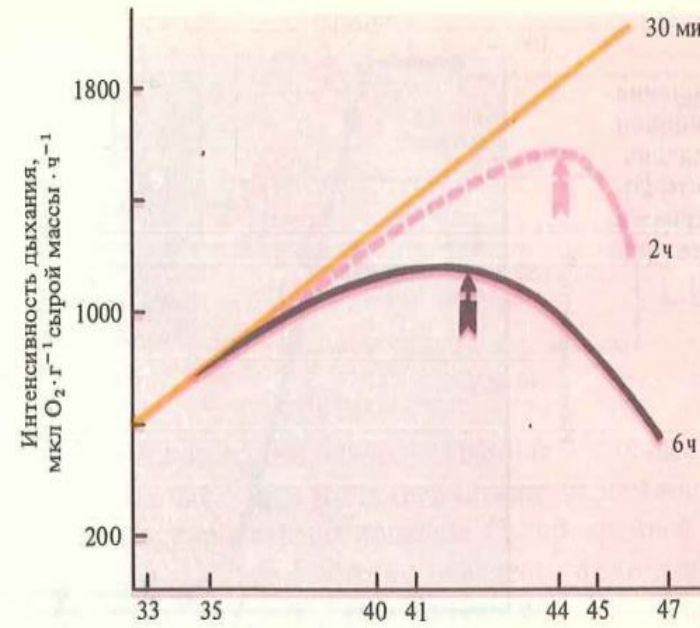


Рис. 3.27

Зависимость интенсивности фотосинтеза у ели от температуры (Б. А. Рубин, В. Ф. Гавриленко, 1977)

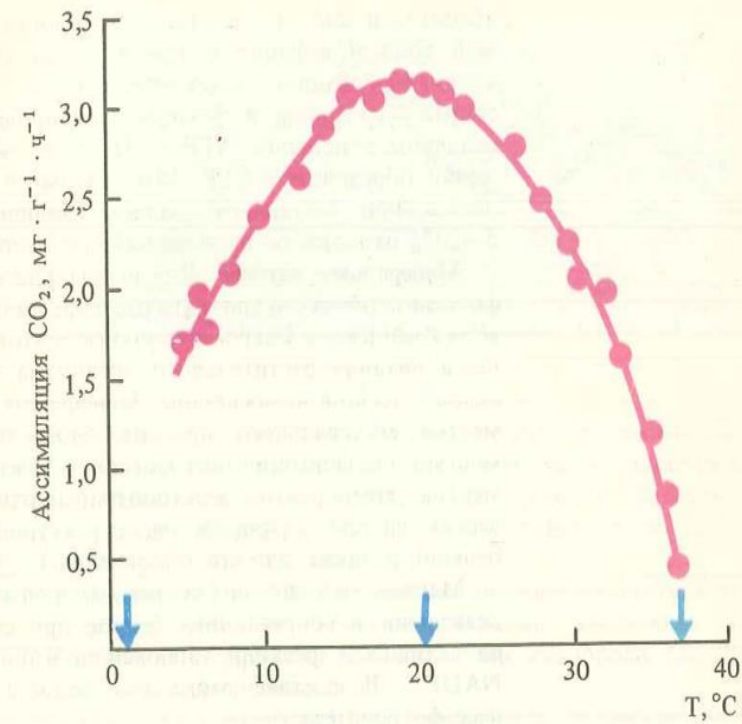
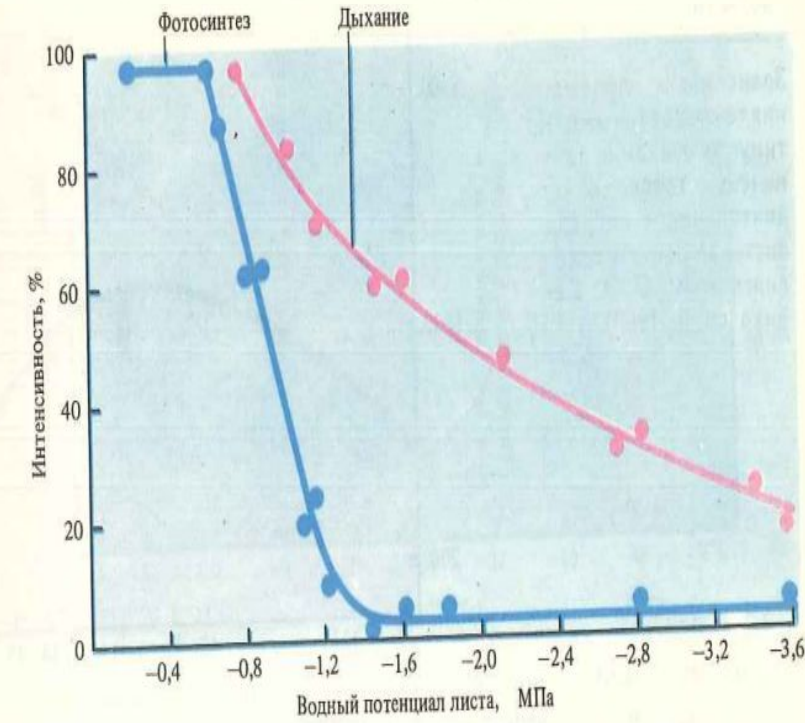


Рис. 4.16

Влияние уменьшения водного потенциала листа на относительную интенсивность фотосинтеза и дыхания у растений томата (по Х. Бриксу, 1962)



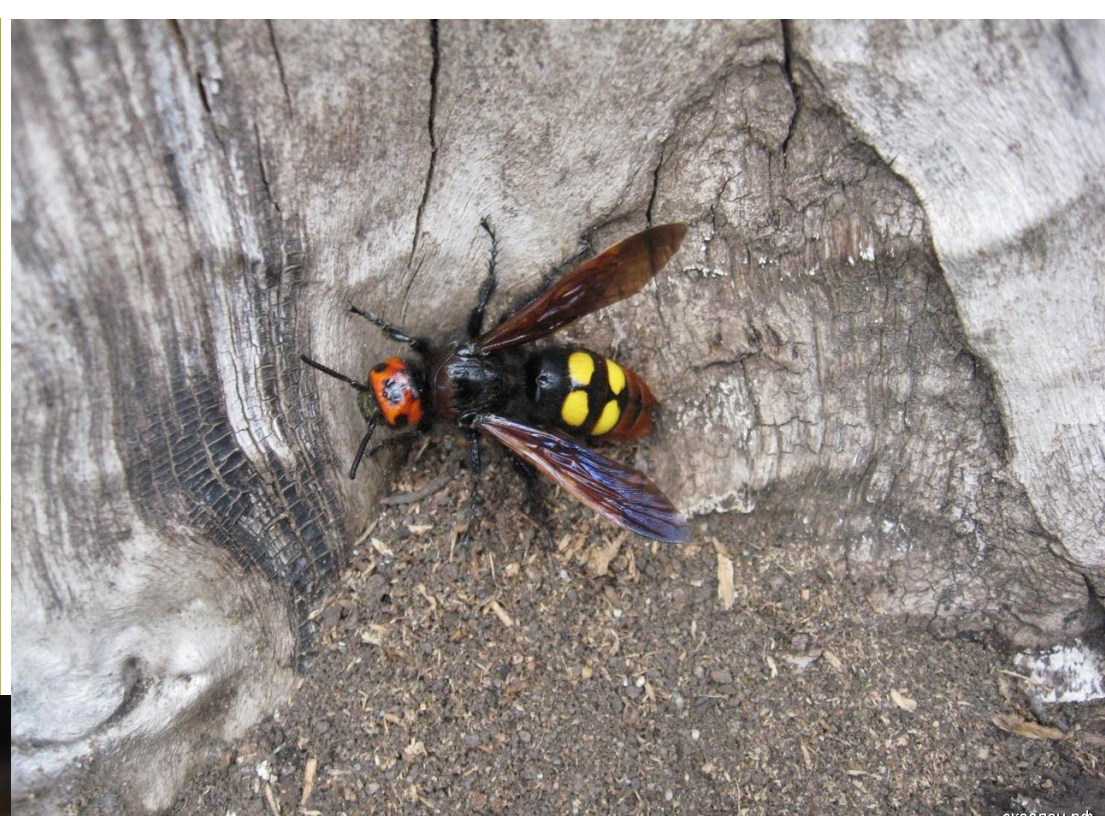
1. Тенденции изменения характерных видов более южных зон - широколиственных лесов и лесостепи радикально иные. Вместо единого тренда здесь отмечено два противоположно направленных. Часть таких видов расселяется к северу и/или демонстрирует некоторый рост популяций, другая, наоборот, сокращает численность и ареал, отступая к югу и юго-востоку. В результате между "приходящими" и "уходящими видами этой группы в нашем регионе сохраняется некий баланс. К первым относятся змееяд, балобан, кобчик, домовый сыч, видимо также удод, зелёный дятел, сизоворонка, садовая овсянка, ко вторым - степной лунь, золотистая щурка, мухоловка-белошейка, средний пёстрый и сирийский дятлы, голубая лазоревка, дубонос

2. Другой важный момент - укрепляют свои позиции в северных пределах ареала и/или распространяются к северу те виды широколиственных лесов и лесостепи, которые смогли "выйти" из исходных местообитаний в а зональные, антропогенно преобразованные (сады, парки, заброшенные карьеры, крупные массивы сельхозугодий). По ним, собственно, и происходит расселение, что особенно характерно для давно урбанизовавшихся (и силы продвинувшихся на север) лазоревки и дубоноса

Беспозвоночные, расселяющиеся в Подмоскowie в связи с потеплением климата.

Пёстрая бронзовка - "прошла" регион с юга на север в 1970-х - 1980-х, пластинокрыл - в 1980-х - 1990-х, богомол и аргиопа Брюнниха - в 2000-х - 2010-х; в настоящее время - самые северные находки для всех них - уже севернее Подмоскowie (Костромская, Ивановская, Кировская области, пёстрая бронзовка - "добралась" до Онежского озера в Вологодской области). Короткокрылый пестряк и степная сколия - появились в 2000-х, но пока встречаются только на юге Подмоскowie (по границе лесной зоны). Гигантскую сколию ловили несколько раз в окрестностях Москвы и в





Фотографии некоторых расселяющихся южных бабочек.

Перламутровка-дафна и голубянка-агестис - начали расселяться с середины 1970-х, суворовка - в конце 1980-х, поликсена - появилась на границе с Рязанской областью, видимо, в конце 1990-х (а в настоящее время заселила долину Оки в пределах всего Луховицкого района и стала появляться на границе с Коломенским).
Первую галатею встретили в долине реки Полосни, на границе с Тульской областью в середине 1990-х, а голубянка-терзит стала появляться там же, по наблюдениям А.С. Мазохина, только в самые последние годы.
В настоящее время суворовка надёжно заселила южные районы Подмосковья и долину Оки, севернее встречается единично, хотя залёты известны вплоть до юга Вологодской области. В отличие от неё, галатея до сих пор встречается единично, хотя вполне обычна в на юге Тульской, Рязанской и Нижегородской областей.



Влияние изменений климата на леса России: зафиксированные воздействия и прогнозные оценки

Д. Замолотчиков, д-р биол. наук,
МГУ имени М. В. Ломоносова;
Г. Краев, канд. геогр. наук, ЦЭПЛ РАН

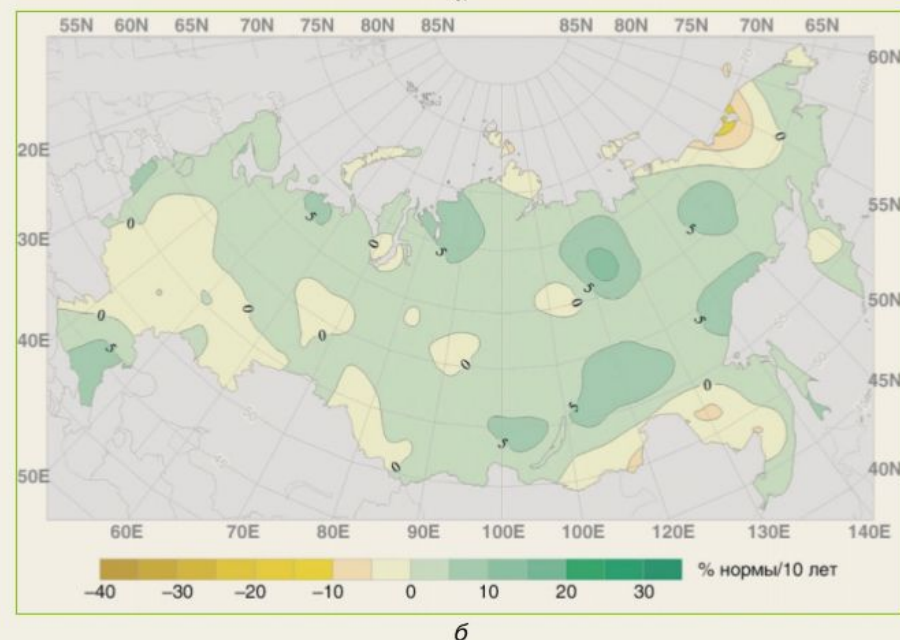
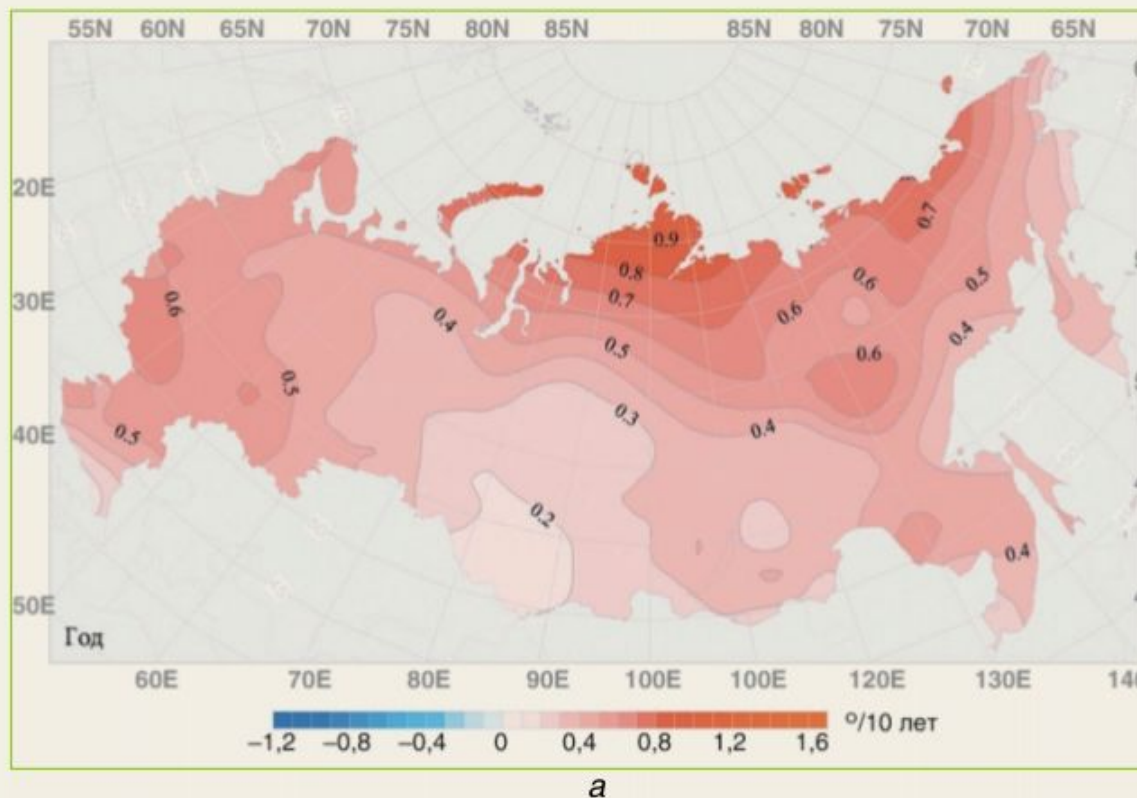


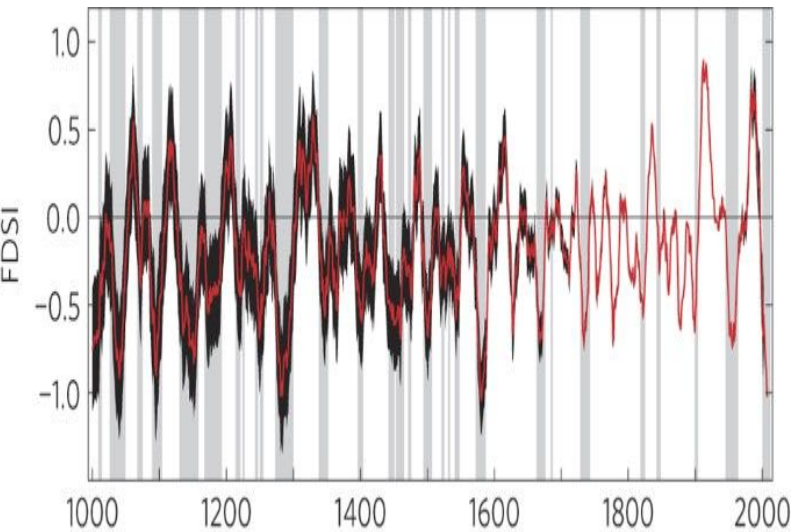
Рис. 1. Наблюдаемые изменения климата на территории России за 1976–2012 годы:
а — линейный тренд температуры ($^{\circ}\text{C}/10$ лет); б — линейный тренд годовых сумм осадков (% нормы за 10 лет) [3]

Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality

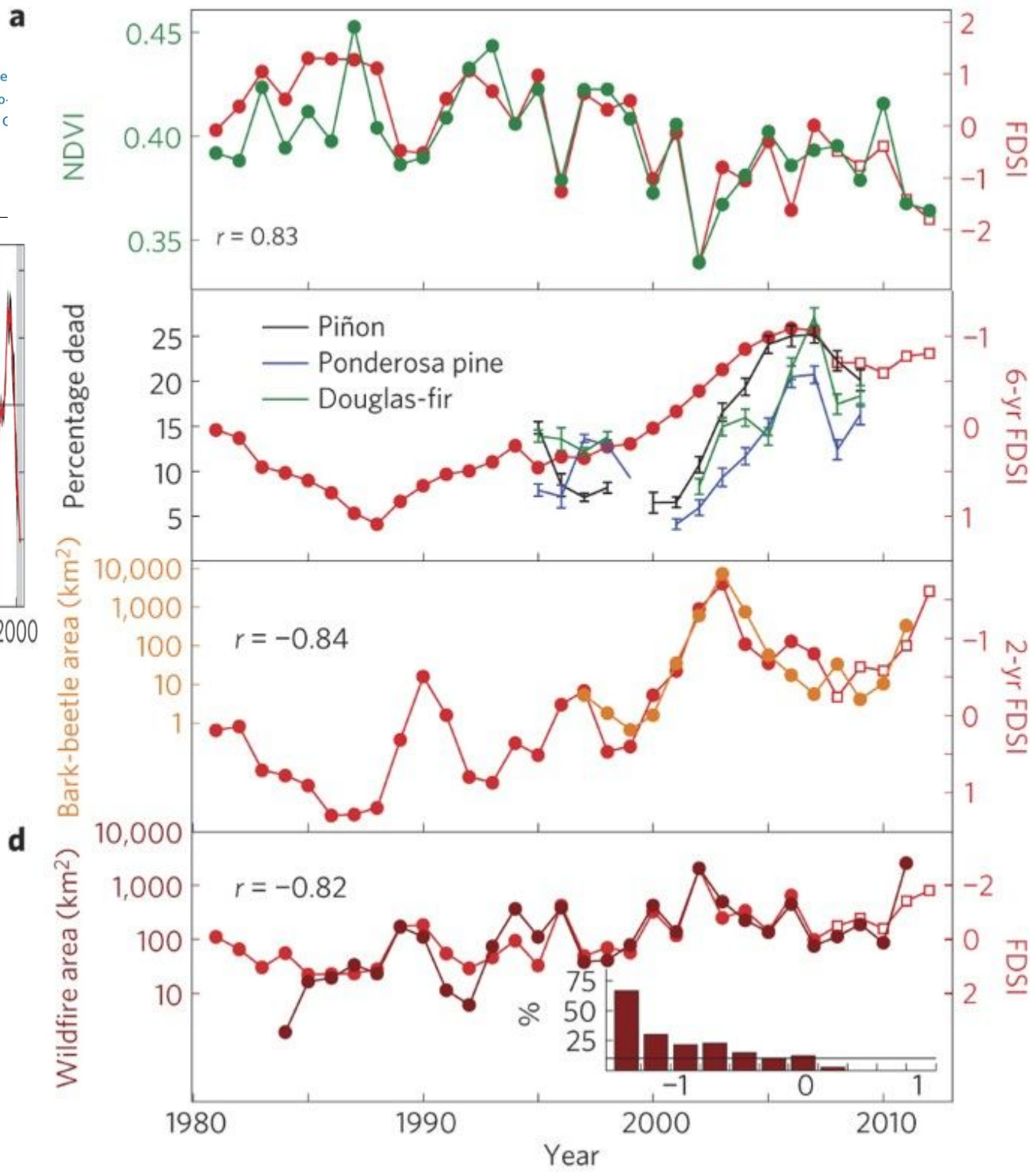
A. Park Williams, Craig D. Allen, Alison K. Macalady, Daniel Griffin, Connie A. Woodhouse, David M. Meko, Thomas W. Swetnam, Sara A. Rauscher, Richard Seager, Henri D. Grissino-Mayer, Jeffrey S. Dean, Edward R. Cook, Chandana Gangodagamage, Michael Cai & Nate C McDowell

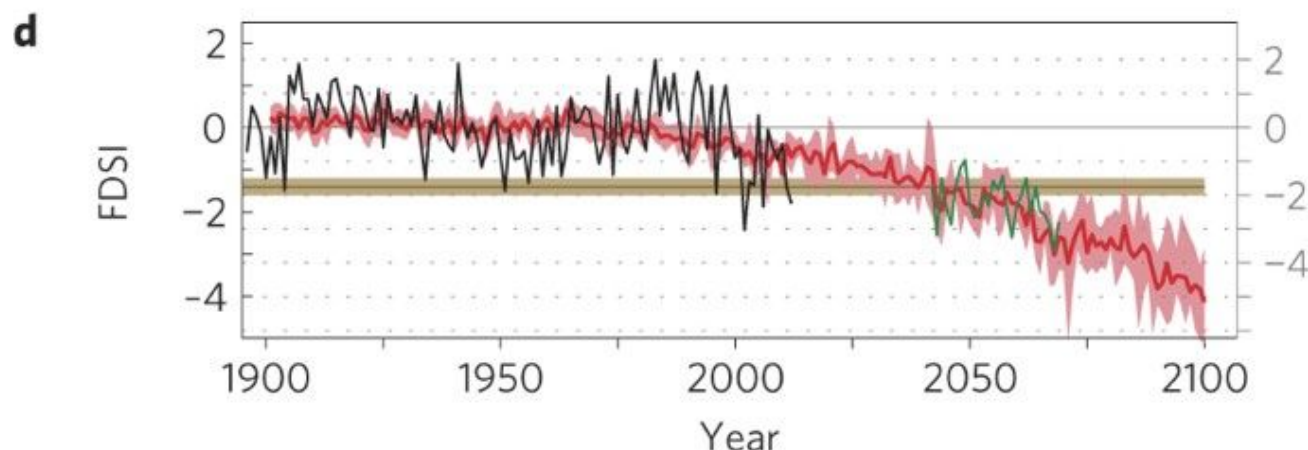
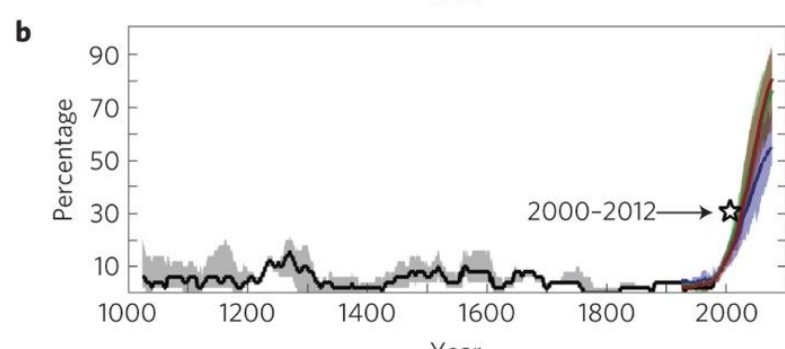
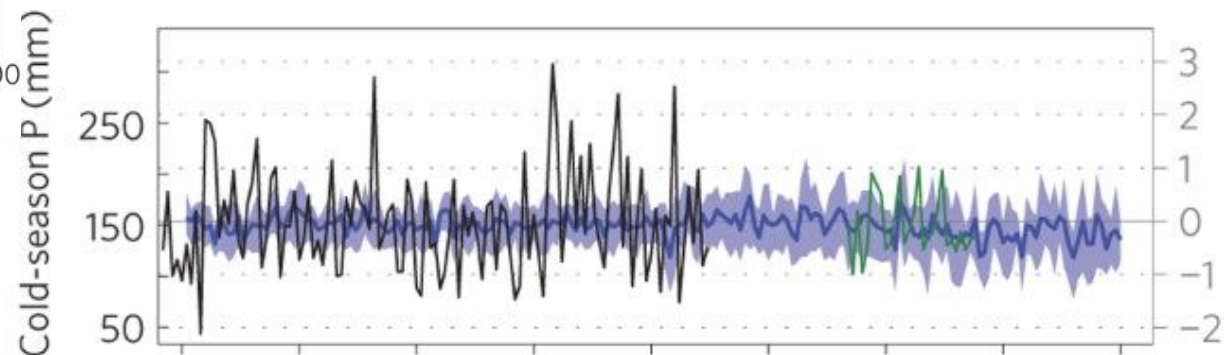
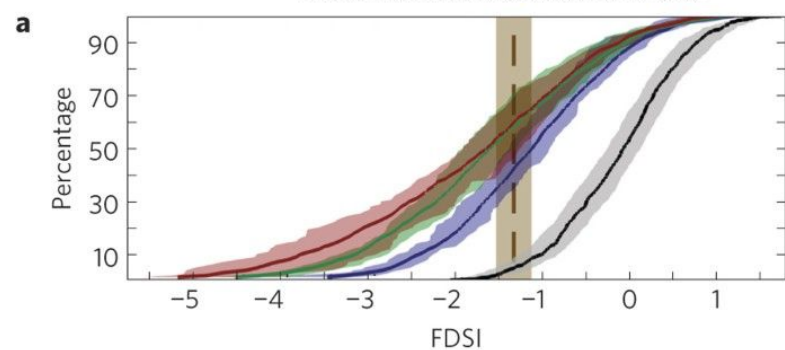
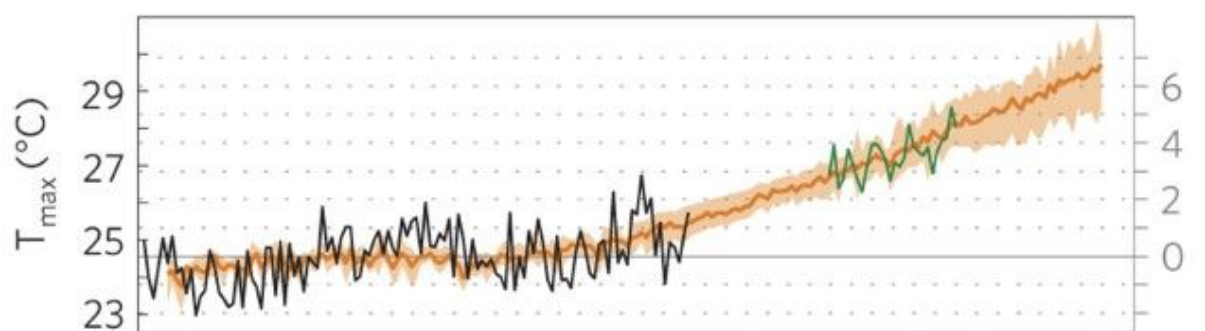
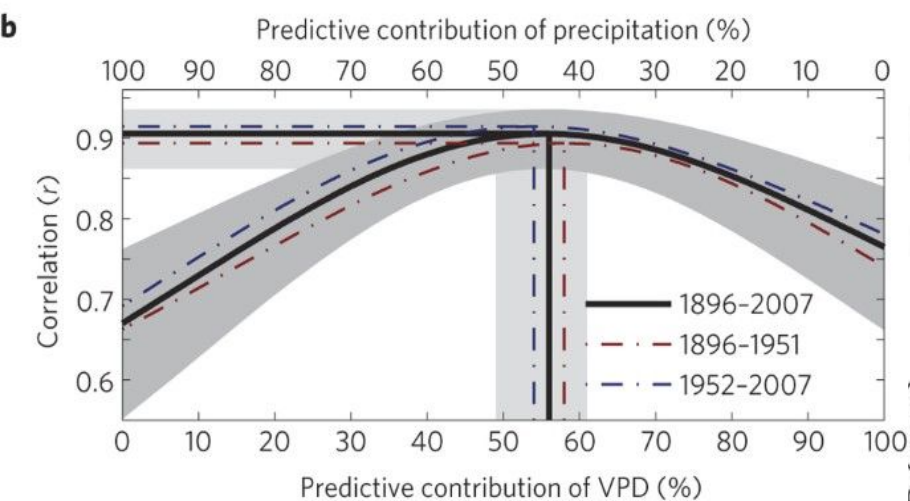
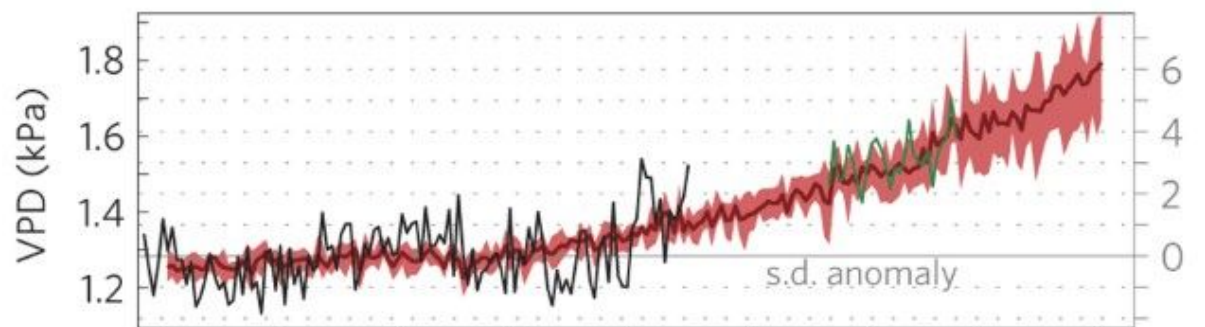
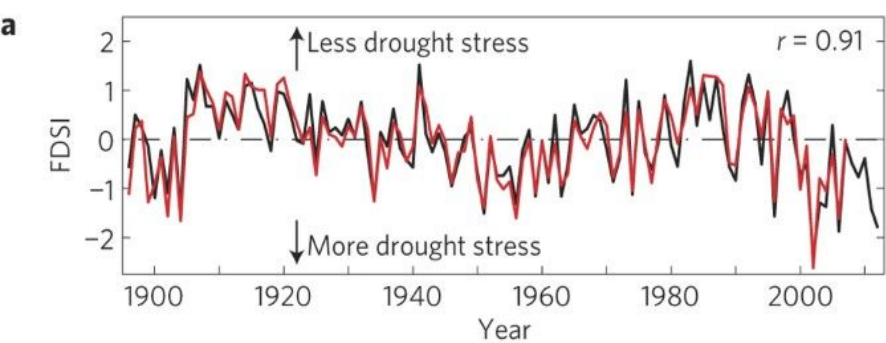
Nature Climate Change 3, 292–297(2013) | Cite this article

3416 Accesses | 899 Citations | 213 Altmetric | Metrics



Динамика индекса стресса засухой, со сглаживанием в 11 лет (выше 0 — стресс меньше долговременной средней, ниже — больше).





В динамике всех биомов планеты критически важный момент — антропогенное нарушение:
 усиливают его люди или, наоборот, прекращают; а то и «вкладываются» в восстановление природных сообществ?

«Географическое положение “островов”

опустынивания сравнивается в Северо-Западном Прикаспии в периоды 1985–1991 и 2011–2017 гг. (рис. 3а).

Ярко выраженный “остров” антропогенного происхождения существовал вблизи биосферного заповедника “Черные Земли” в первый период. Также зарождающиеся “острова” наблюдались западнее и северо-западнее от него.

Фитомелиоративные мероприятия в 1990-х годах, совпавшие с влажной флуктуацией климата, и снижение антропогенной нагрузки на пастбища изменили ситуацию вблизи заповедника в последующие годы [14]. Новое усиление перевыпаса в первом десятилетии XXI в. вызвало образование новых “островов” на пастбищах на Левобережье и Правобережье р. Волги [8, 13]. Предпосылки образования “островов” возникли также на пустынных пастбищах Калмыкии и Астраханской области (см. рис. 3б)»

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2019, № 1, с. 3–13

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ
 ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 551.5

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ, ОПУСТЫНИВАНИЕ/ДЕГРАДАЦИЯ
 И ЗАСУХИ В АРИДНЫХ РЕГИОНАХ

© 2019 г. А. Н. Золотокрылин¹

Институт географии РАН, Москва, Россия

e-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.04.2018 г.; после доработки 26.08.2018 г.; принята в печать 21.09.2018 г.

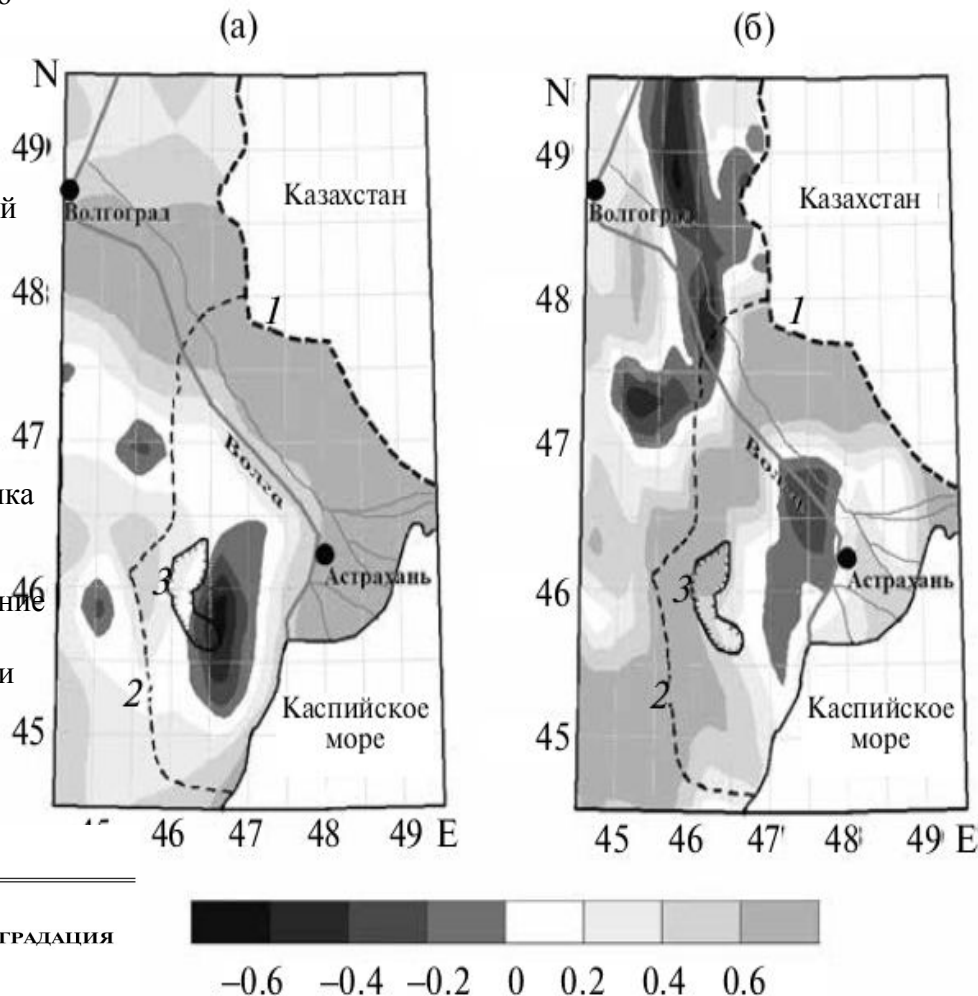


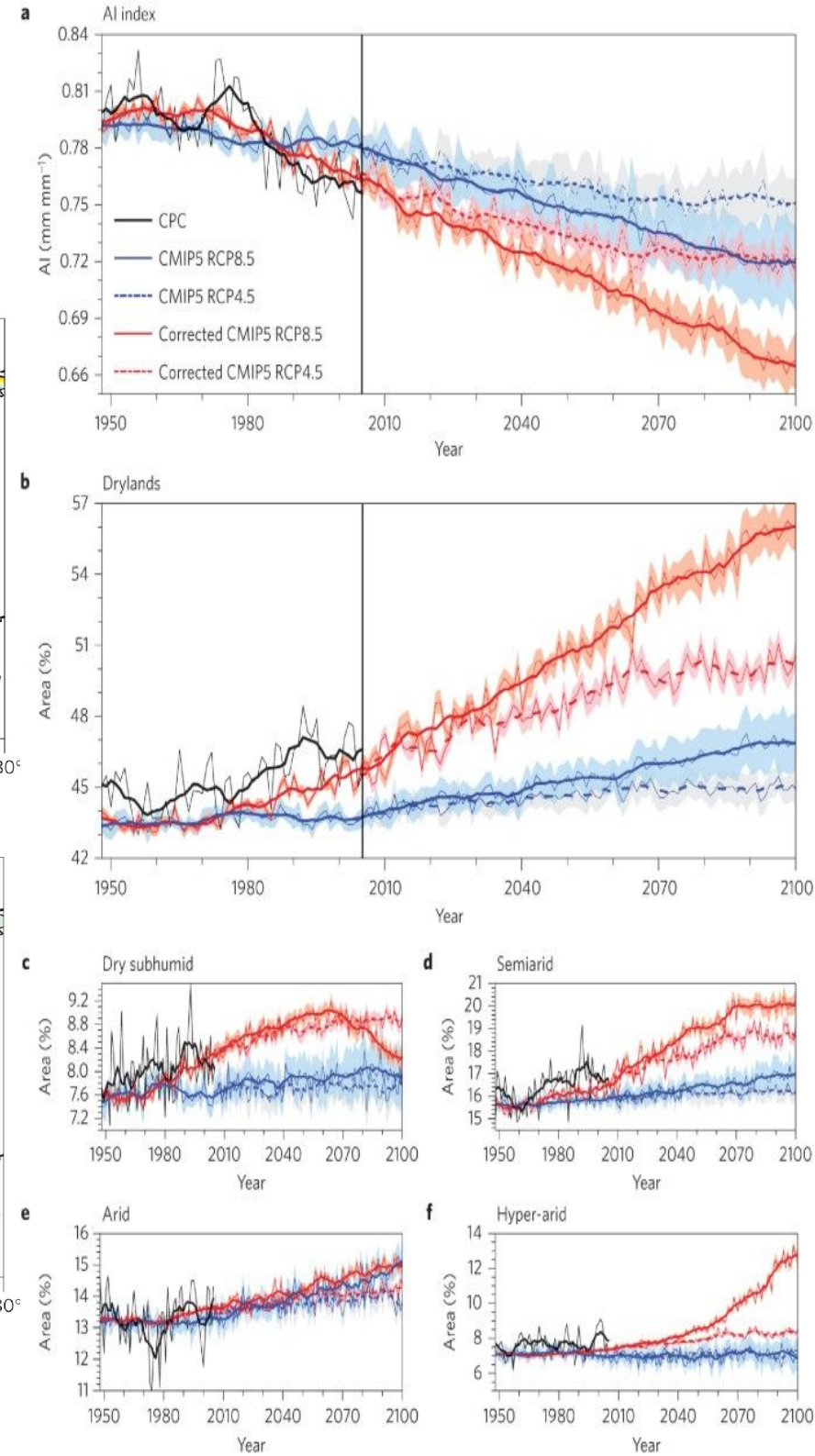
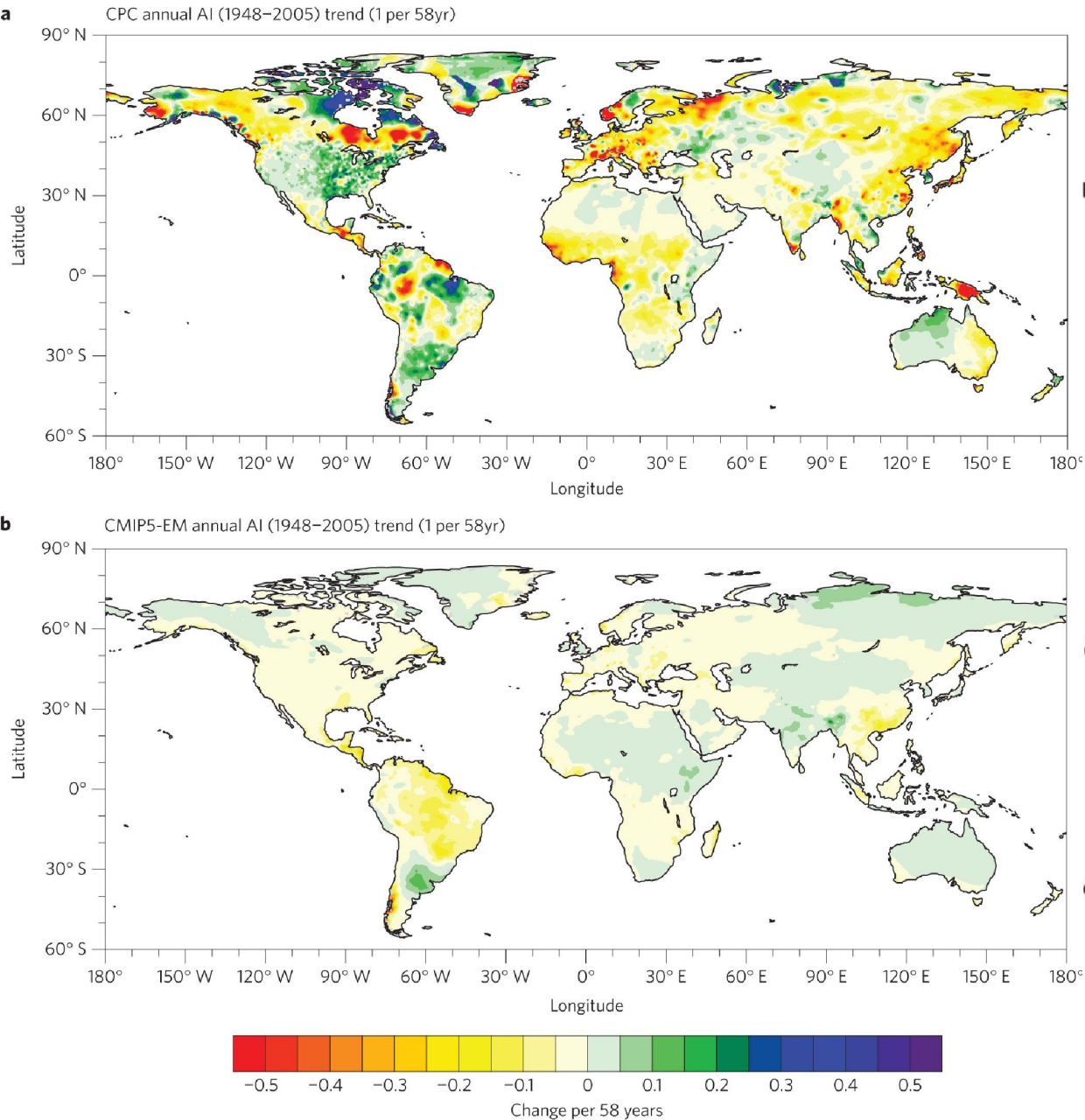
Рис. 3. “Острова” опустынивания (темные оттенки красок) на территории Северо-Западного Прикаспия: а – период 1985–1991 гг.; б – период 2011–2017 гг. Интенсивность опустынивания (шкала) возрастает с увеличением отрицательного коэффициента корреляции между альбедо и температурой поверхности. Цифрами обозначены: 1 – государственная граница Российской Федерации; 2 – граница северной пустыни; 3 – биосферный заповедник “Черные земли”.

Accelerated dryland expansion under climate change

Jianping Huang, Haipeng Yu, Xiaodan Guan, Guoyin Wang & Ruixia Guo

Nature Climate Change 6, 166–171(2016) | Cite this article

4721 Accesses | 671 Citations | 274 Altmetric | Metrics



FOREST ECOLOGY

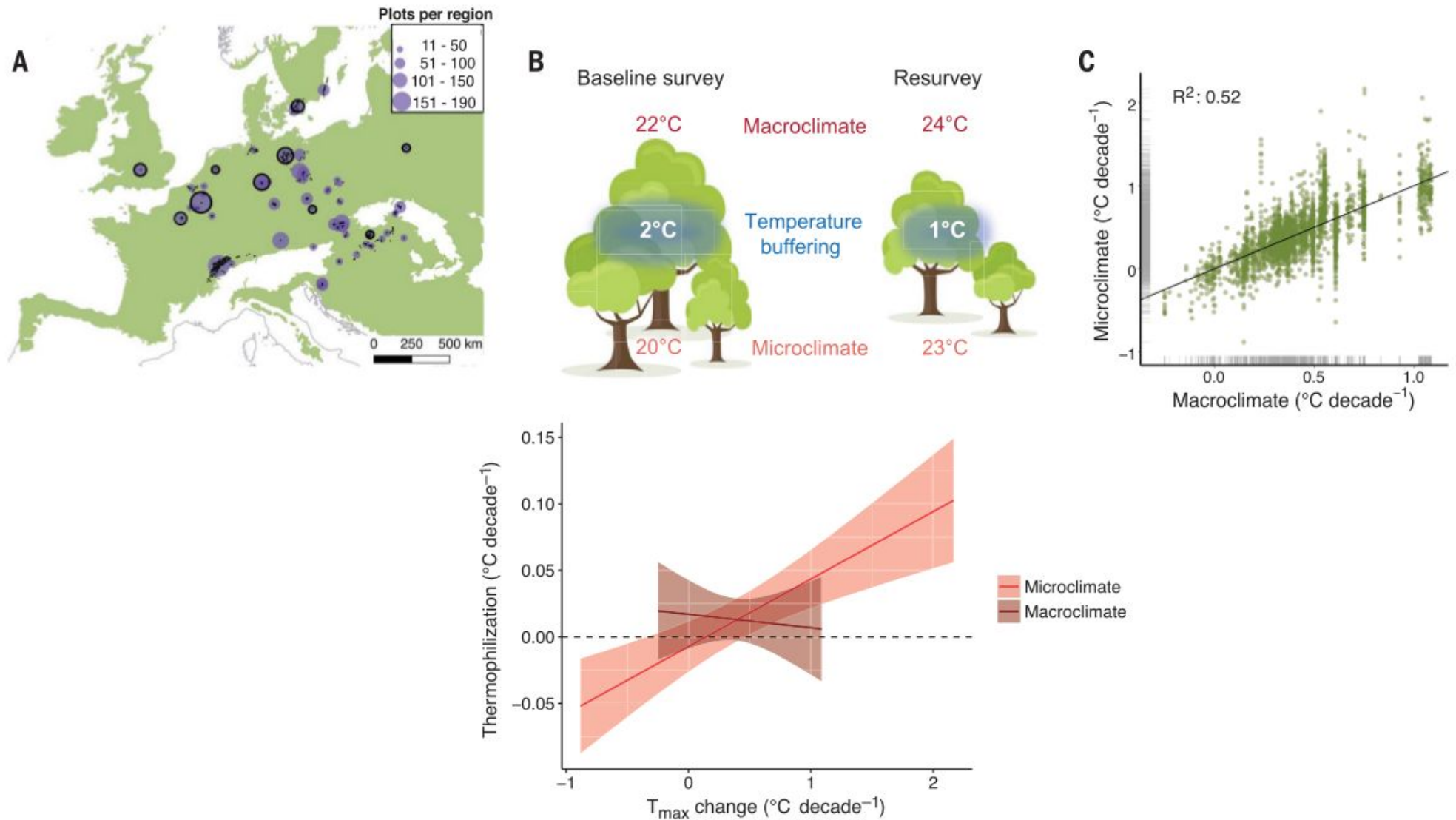
Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming

Florian Zellweger^{1,2,*}, Pieter De Frenne³, Jonathan Lenoir⁴, Pieter Vangansbeke³, Kris Verheyen², Markus Bernhardt-Römermann⁵, Lander Baeten³, Radim Hédí^{6,7}, Imre Berk⁸, Jörg Brunet⁹, Hans Van Calster¹⁰, Markéta Chudomelová⁶, Guillaume Decocq⁴, Thomas Dirnböck¹¹, Tomasz Durak¹², Thilo Heinken¹³, Bogdan Jaroszewicz¹⁴, Martin Kopecký^{15,16}, František Máliš^{17,18}, Martin Macek¹⁹, Marek Malicki¹⁹, Tobias Naaf²⁰, Thomas A. Nage²¹, Adrienne Ortman-Ajka²², Petr Petřík¹⁵, Remigiusz Pielech²³, Kamila Reczyńska¹⁹, Wolfgang Schmidt²⁴, Tibor Standovář²⁵, Krzysztof Świerkosz²⁶, Balázs Teleki²⁷, Ondřej Vít⁴, Monika Wulf²⁸, David Coomes^{1*}

RESEARCH | REPORT

«Свой» микроклимат под пологом изменчивей, чем сдвиг макроклимата «снаружи». Пока сохраняется первый, лес устойчив ко второму, а это зависит от отсутствия нарушений

А — расположение площадок, В - разница температур в пологе и подлеске в 1934 и 2017 годах, С - корреляция между микро- и макроклиматом.



Всякое нарушение — опушки, гари, пятна рекреационной дигрессии, «окна» и сухостой в местах нападения фитофагов — всё это превращает массив из стока углерода в источник. Также как нарушение влажностного режима — заболачивание лесов и осушение болот

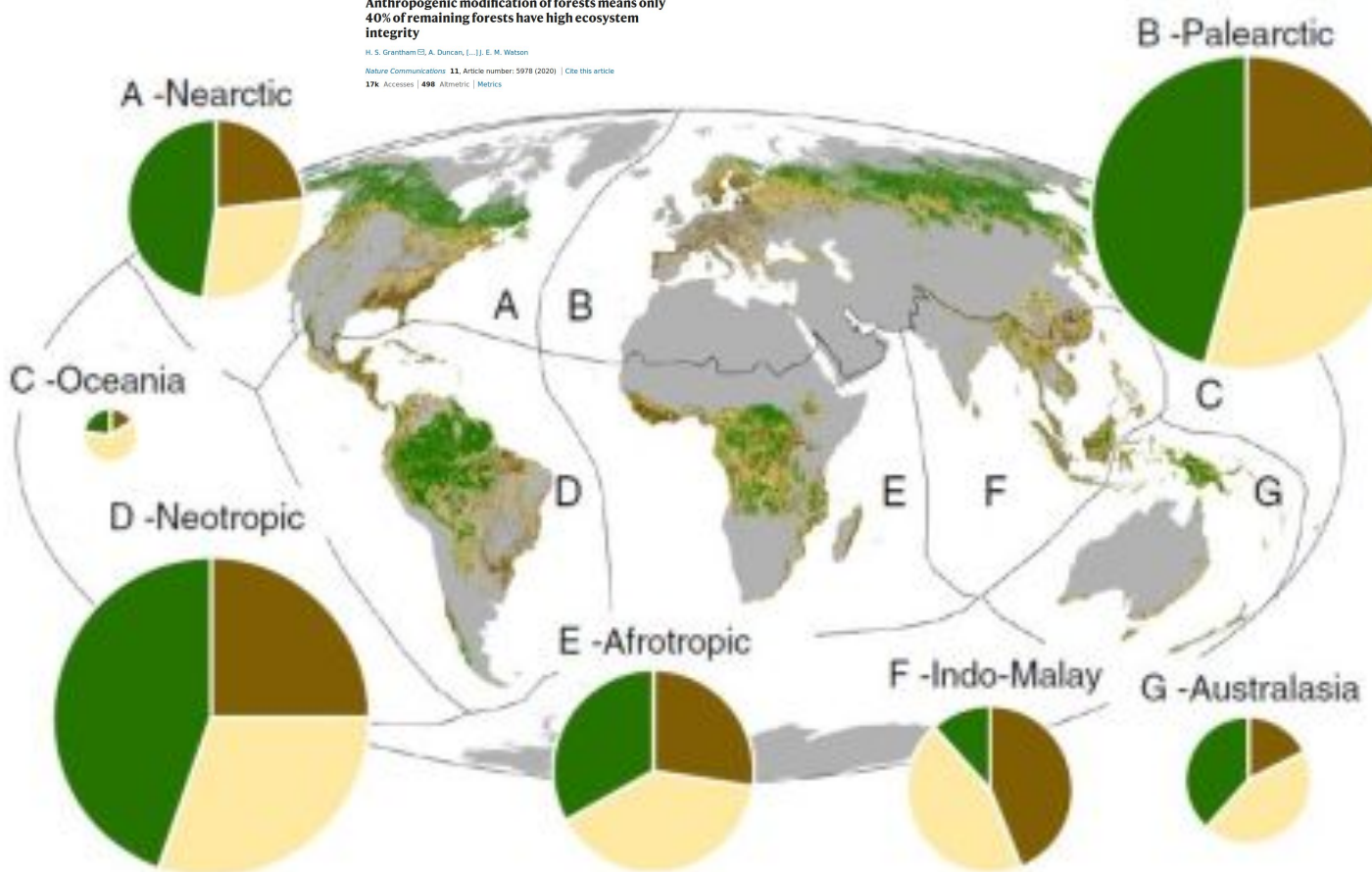
nature > nature communications > articles > article

Article | Open Access | Published: 08 December 2020

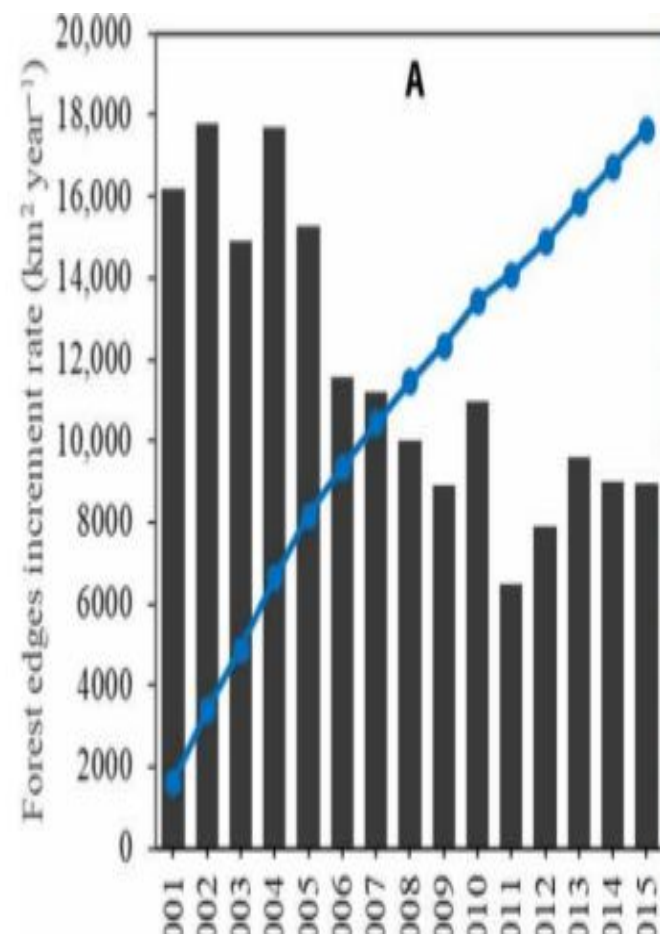
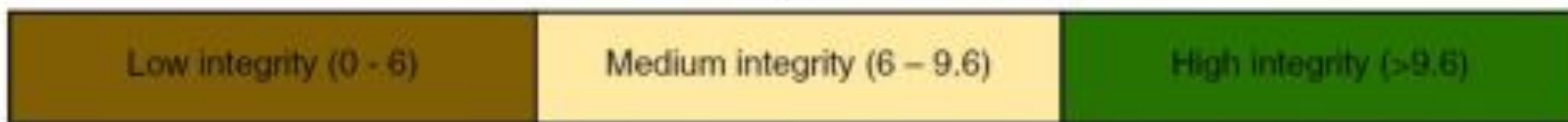
Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity

H. S. Grantham¹, A. Duncan,¹ [...] E. M. Watson

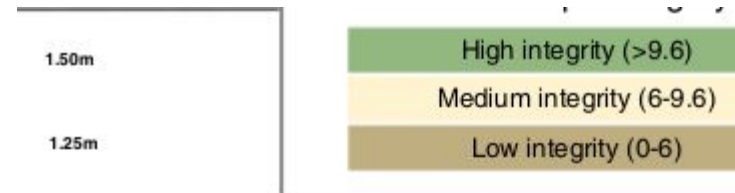
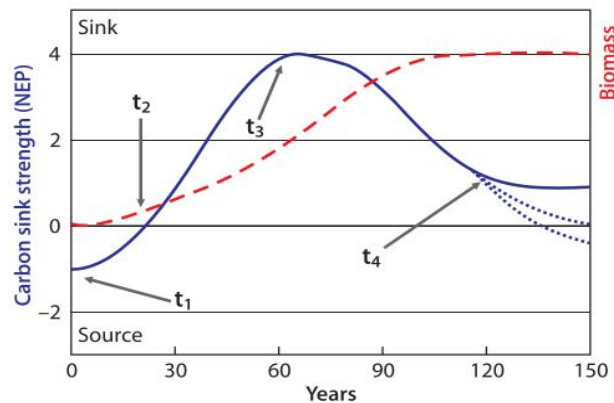
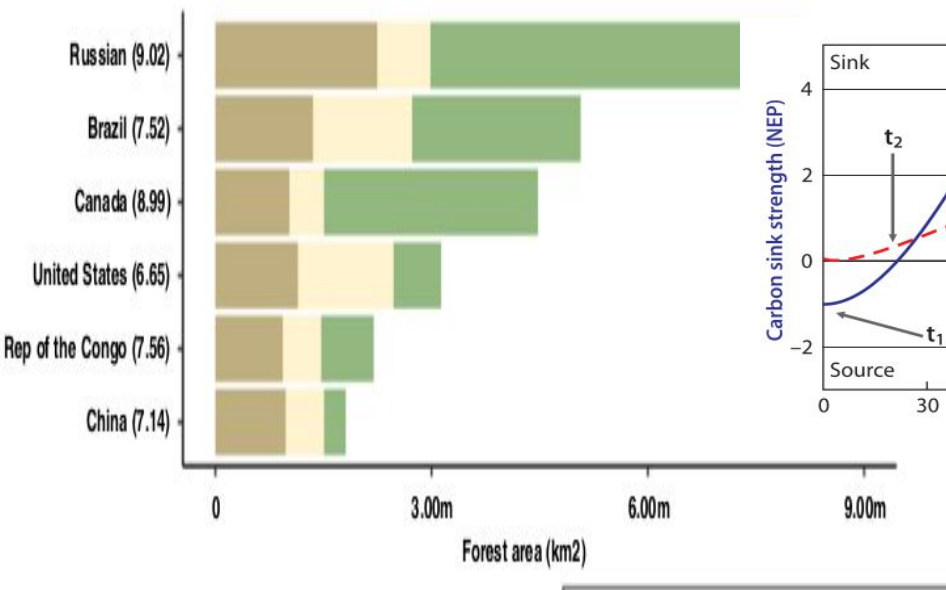
Nature Communications **11**, Article number: 5978 (2020) | Cite this article
17k Accesses | 490 Altmetric | Metrics



Forest Landscape Integrity Index



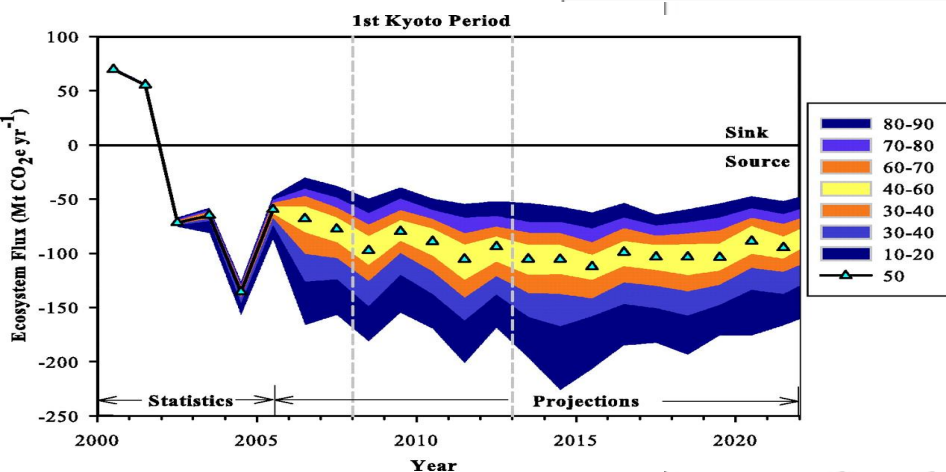
Карта индекса целостности лесных ландшафтов в мире. А-Г — выделенные лесные регионы, Н — обобщение по всем регионам. Размер каждого круга пропорционален площади лесов в регионе.



Chapter 6

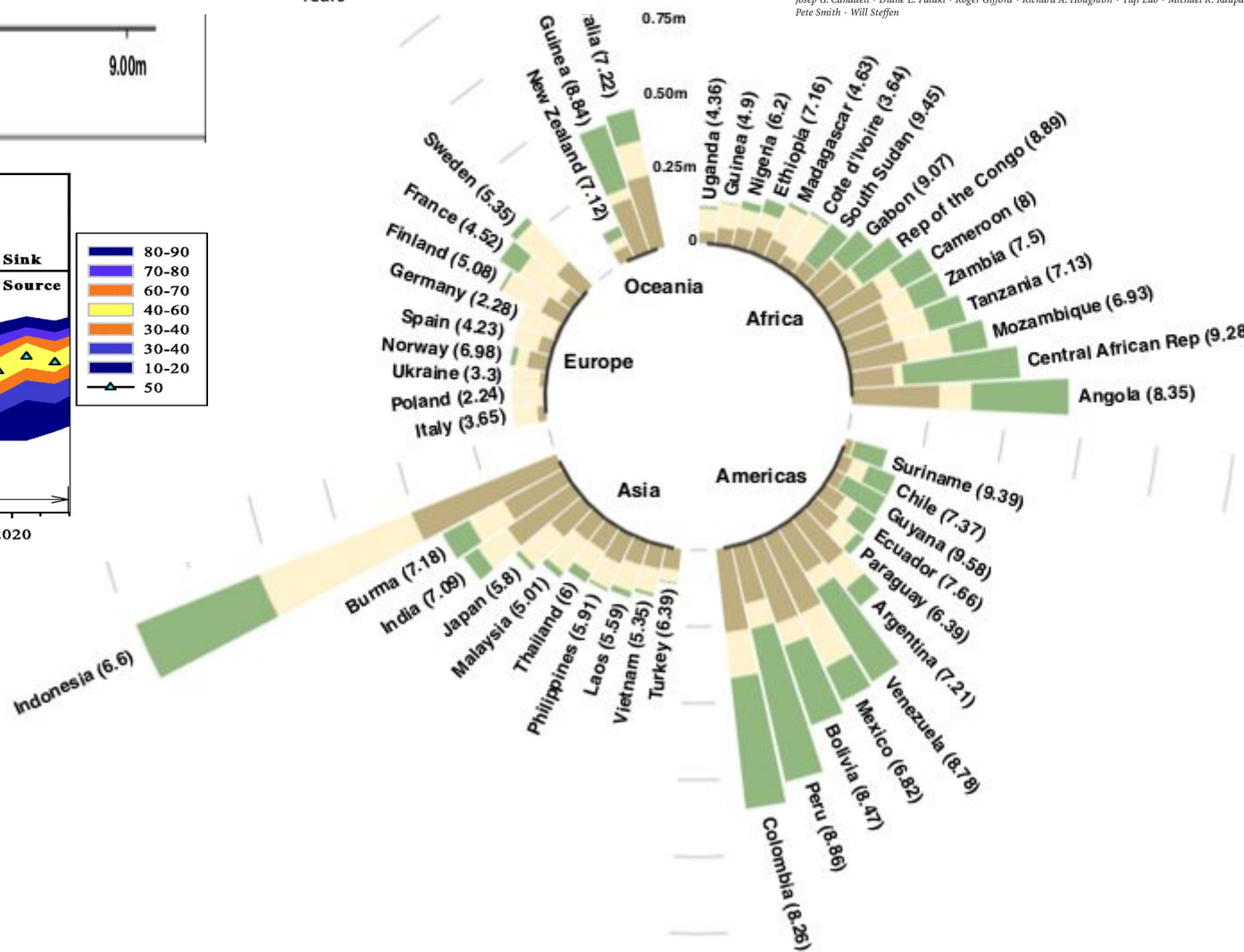
Saturation of the Terrestrial Carbon Sink

Josep G. Canadell · Diane E. Pataki · Roger Gifford · Richard A. Houghton · Yiqi Luo · Michael R. Raupach · Pete Smith · Will Steffen



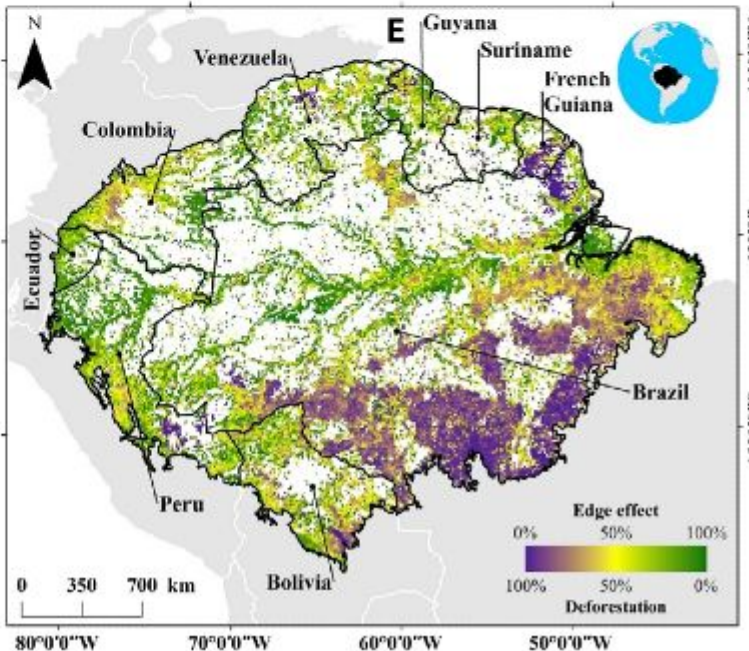
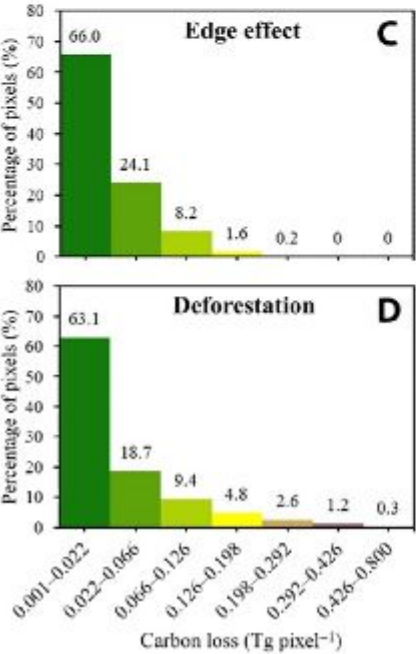
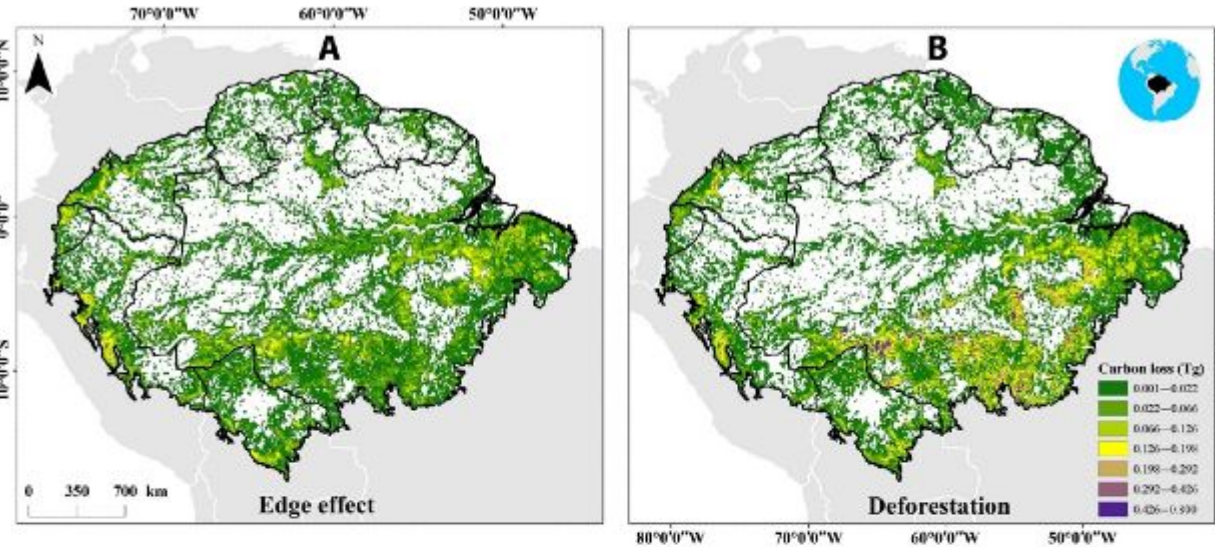
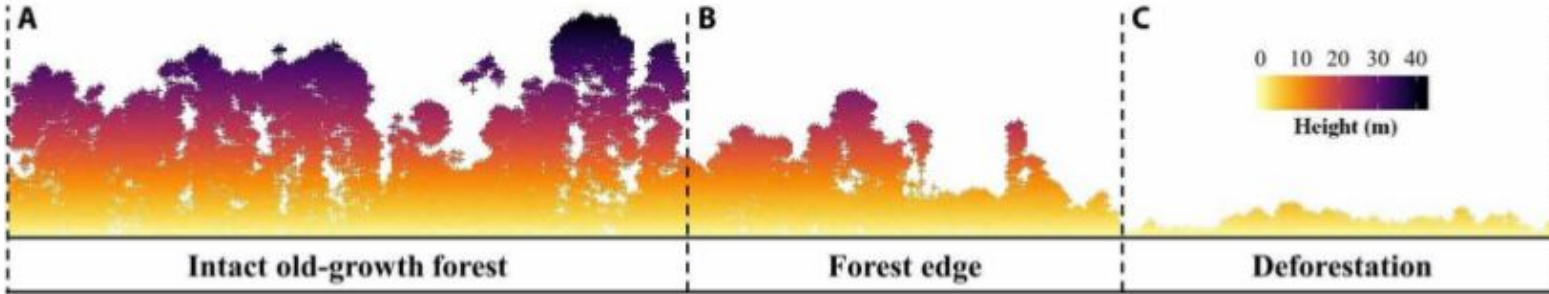
Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain

Werner A. Kurz, Graham Stinson, Gregory J. Rampley, Caren C. Dymond, and Eric T. Neilson
PNAS February 5, 2008 105 (5) 1551-1555; <https://doi.org/10.1073/pnas.0708133105>

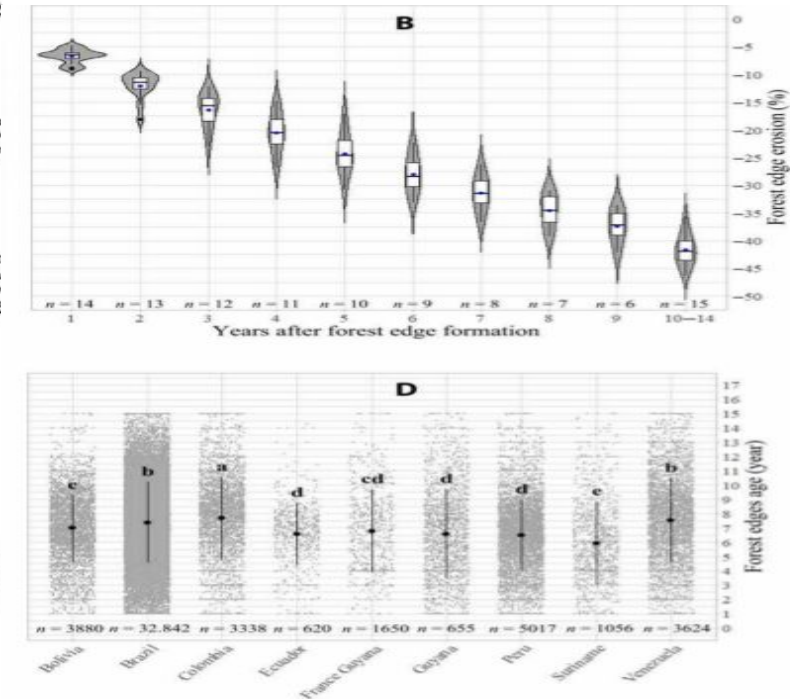


Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses

Celso H. L. Silva Junior^{1,2*}, Luiz E. O. C. Aragão^{1,2,3}, Liana O. Anderson^{1,4}, Marisa G. Fonseca^{1,2,5}, Yosio E. Shimabukuro^{1,3}, Christelle Vancutsem⁶, Frédéric Achard⁶, René Beuchle⁶, Izaya Numata⁷, Carlos A. Silva⁸, Eduardo E. Maeda⁹, Marcos Longo¹⁰, Sassan S. Saatchi^{10,11}



Градиент антропогенных нарушений лесов в штате Пара, с.-в. Бразилия

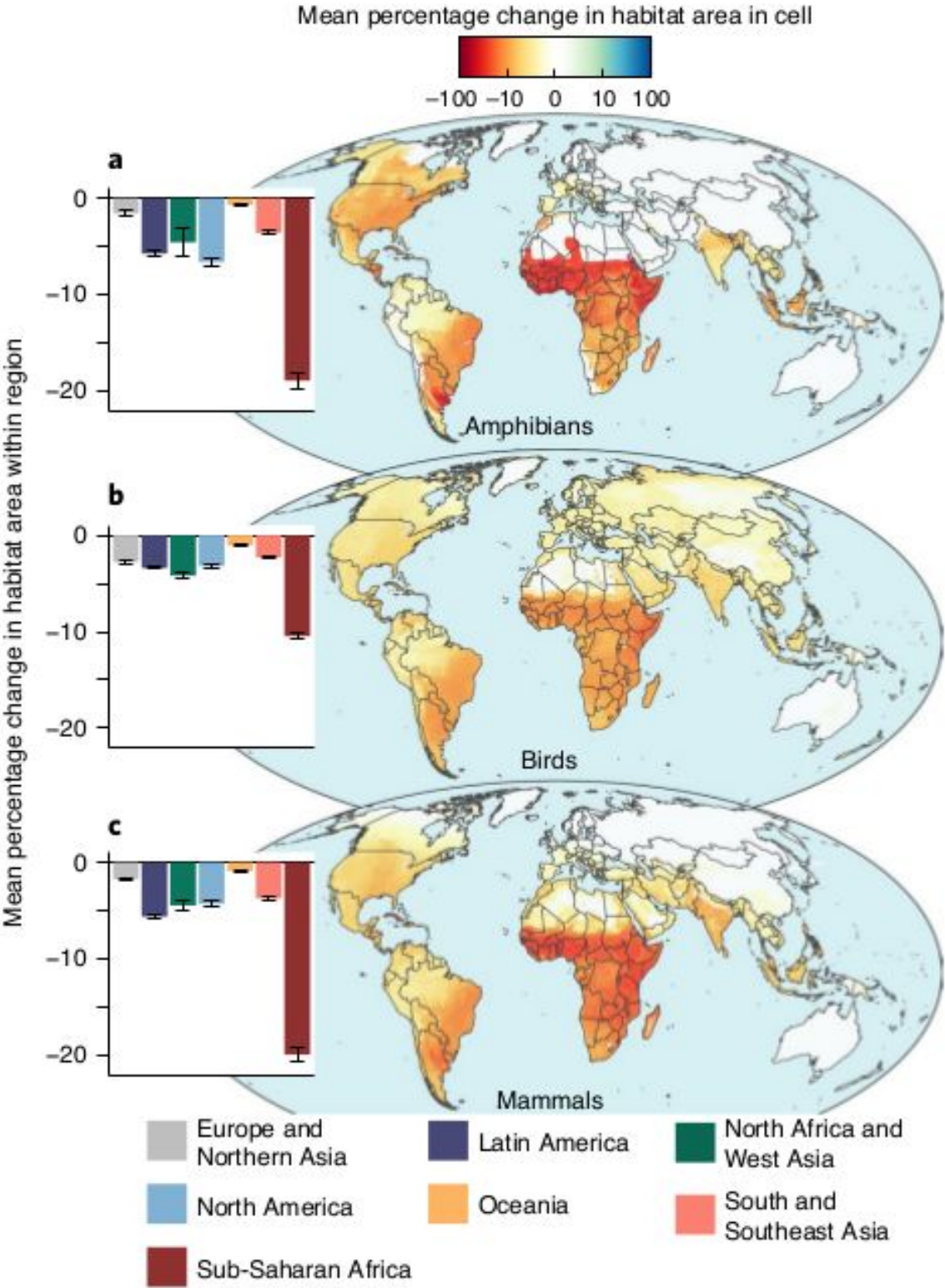
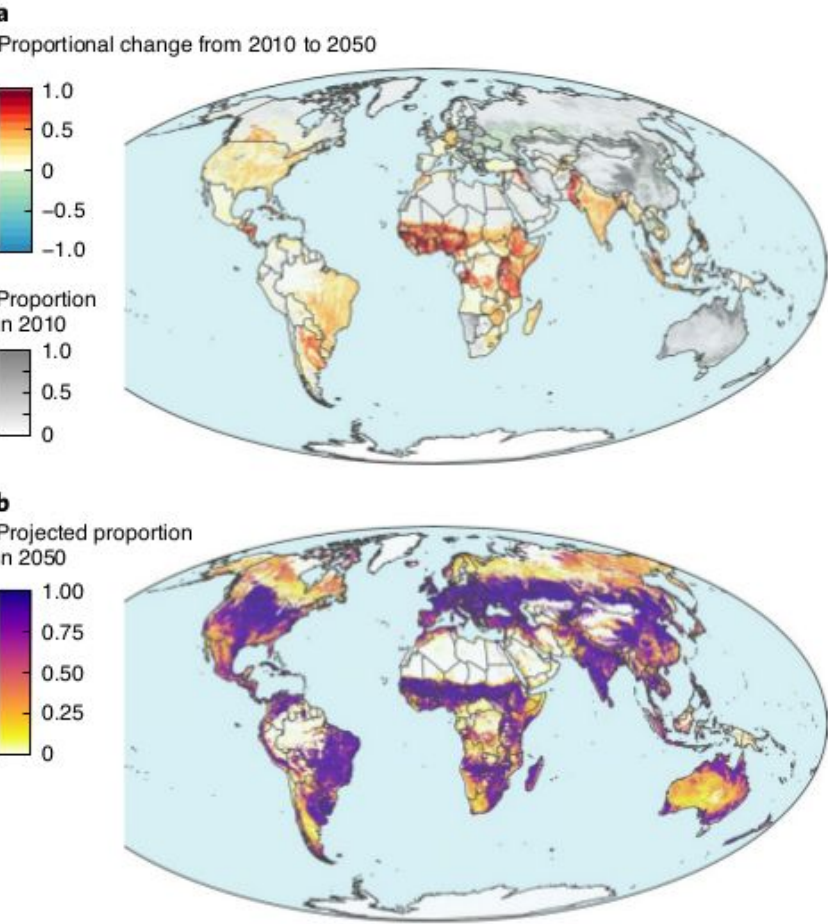


Пространственная изменчивость углеродных потерь в период с 2001 по 2015 годы в результате (A) краевого эффекта (то есть образования опушек) и (B) обезлесения. (C) и (D) — гистограммы частотного распределения потерь углерода, связанных с краевым эффектом и вырубкой леса; (E) процентный вклад краевого эффекта и обезлесения к общей потере углерода каждого пикселя в Амазонии. Потери углерода были агрегированы по сумме в ячейке сетки 10 на 10 километров для улучшения визуализации в (A) и (B).

Proactive conservation to prevent habitat losses to agricultural expansion

David R. Williams✉, Michael Clark✉, Graeme M. Buchanan, G. Francesco Ficetola, Carlo Rondinini & David Tilman

Nature Sustainability (2020) | Cite this article



Возможные варианты происходящего, от «одноточных» к более системным моделям

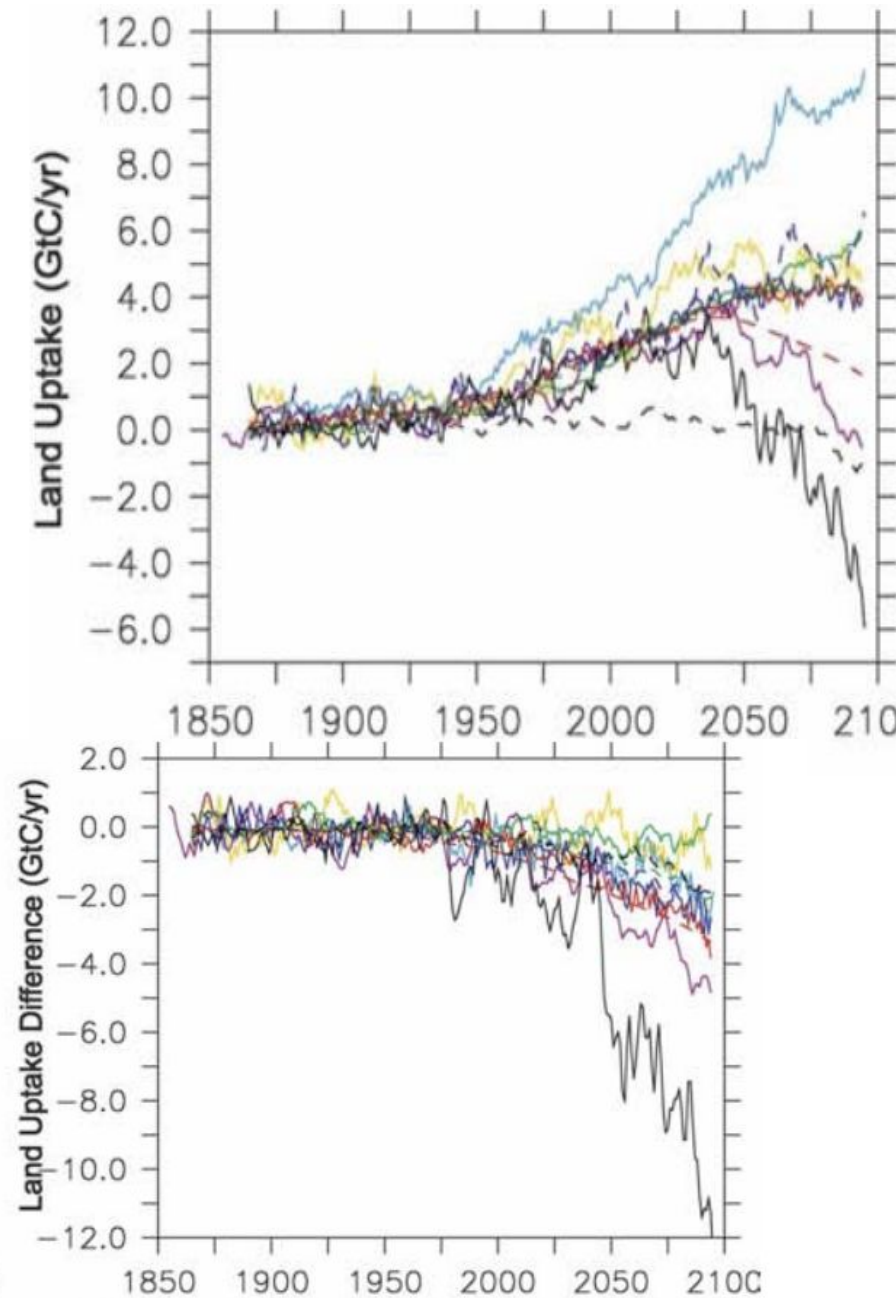
Climate–Carbon Cycle Feedback Analysis: Results from the C⁴MIP Model Intercomparison

P. FRIEDLINGSTEIN,^a P. COX,^b R. BETTS,^c L. BOFF,^a W. VON BLOH,^d V. BROVINK,^d P. CADULE,^e S. DONEY,^f M. EBY,^g I. FUNG,^h G. BALA,ⁱ J. JOHN,^j C. JONES,^k F. JOON,^l T. KATO,^m M. KAWAMURA,ⁿ W. KNORR,^o K. LINDSAY,^o H. D. MATTHEWS,^o T. RADDATZ,^o P. RAYNER,^o C. REICK,^o E. ROECKNER,^o K.-G. SCHNITZLER,^o R. SCHUR,^o K. STRASSMANN,^o A. J. WEAVER,^o C. YOSHIKAWA,^o AND N. ZENG^o

0. «Глобальное озеленение» - ввиду гомеостатической роли биоты «дополнительно выброшенный» углекислый газ, будет усвоен, способствуя экспансии биомов с большей фитомассой, большей долей болот в структуре ландшафта за счёт «сжатия» биомов с меньшей, не говоря уж о росте урожайности с/х культур. «Потепление» преодолевается или оказывается положительным фактором.

1. Балансовая модель — выбросы парниковых газов и их следствия (гумидное и аридное потепления в разных частях планеты) усиливают не только фотосинтез, но и дыхание. Как «распорядятся» растения дополнительным климатическим ресурсом, где будет «позеленение», а где нет, определяется сальдо обоих, зависящим от локального климата, во многом формируемого самой растительностью, её составом, покрытием, выпадениями из воздуха и пр. Это не калька с планетарных изменений, он в широких пределах от них независим.

2. Выбросы CO₂ — лишь один из аспектов прогрессирующего нарушения природных биомов. Нарушенные экосистемы реагируют на них так, что

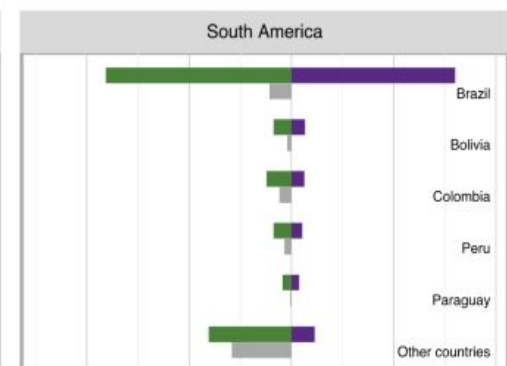
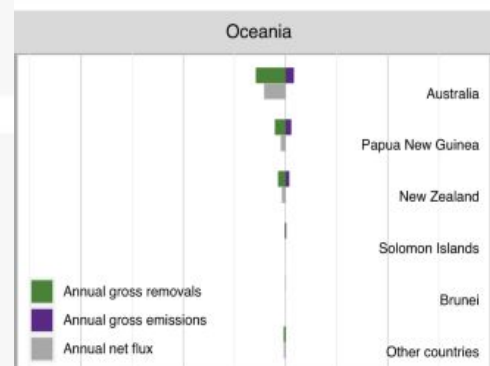
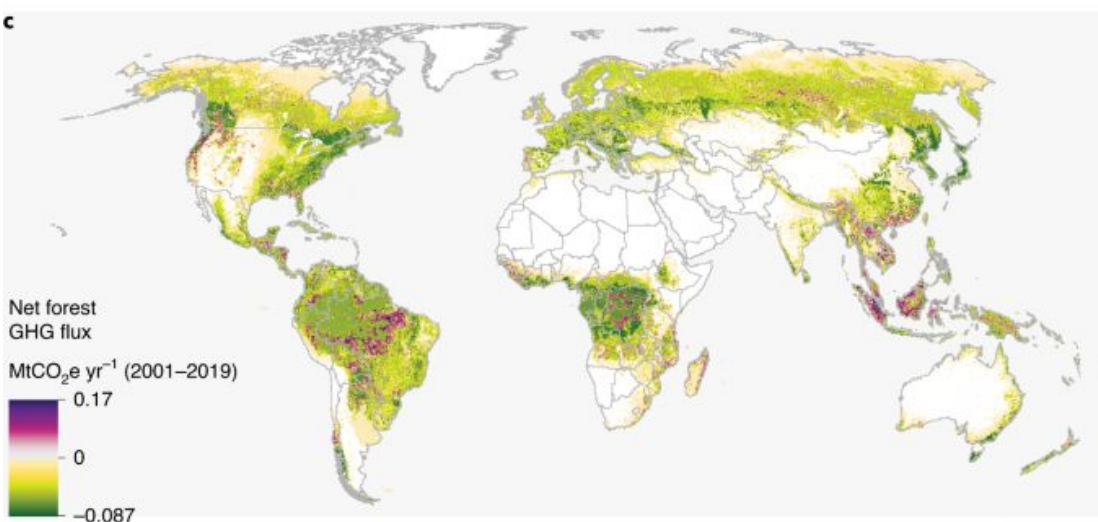
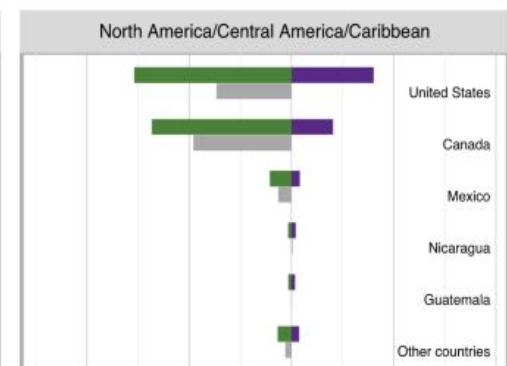
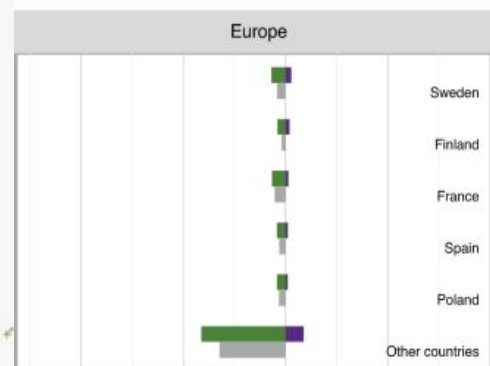
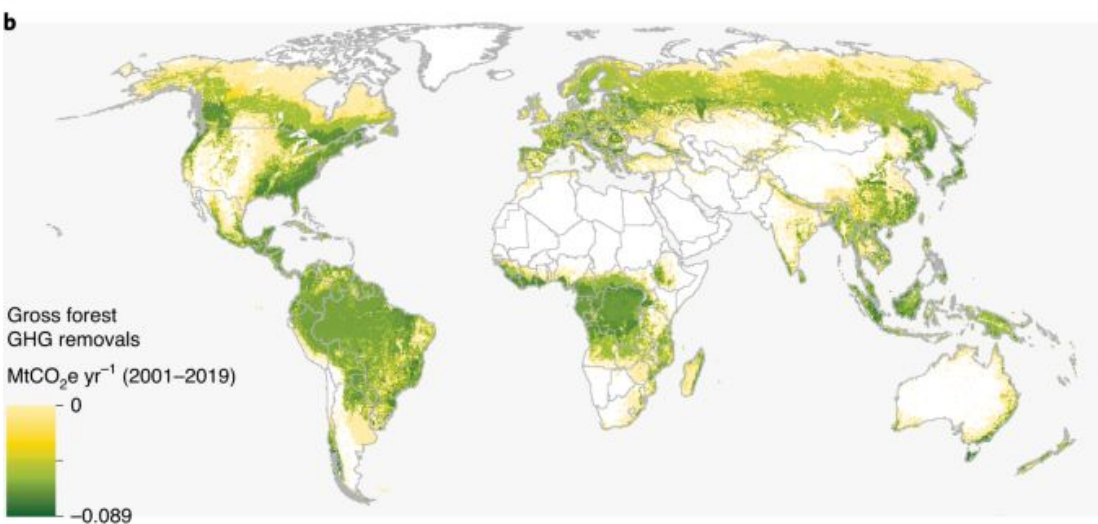
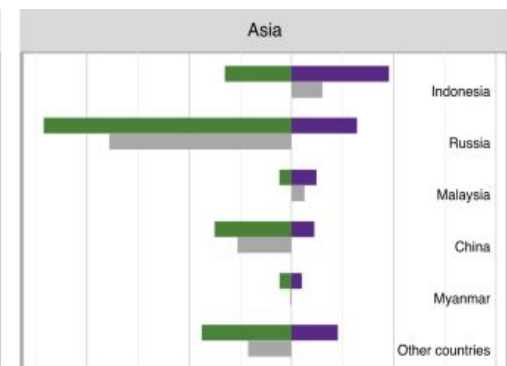
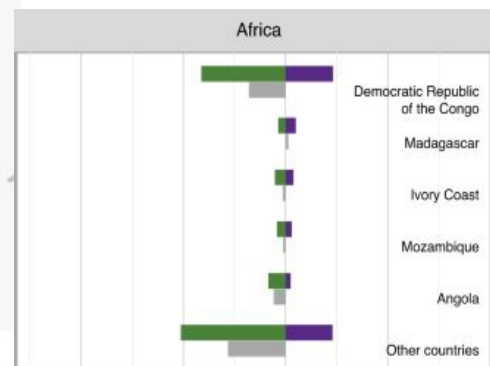
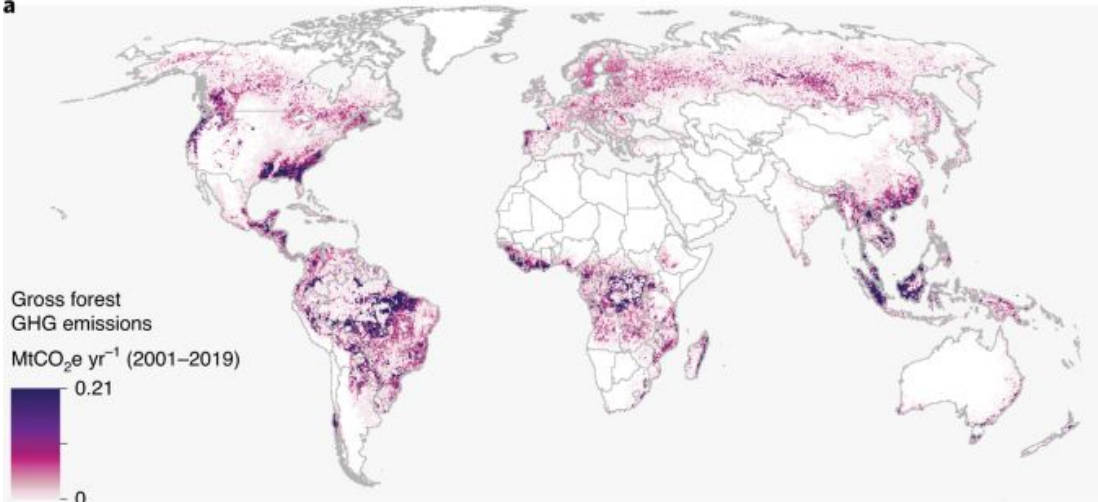


Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes

Nancy L. Harris¹, David A. Gibbs, Alessandro Baccini, Richard A. Birdsey, Sytze de Bruin, Mary Farina, Lola Fatoyinbo, Matthew C. Hansen, Martin Herold, Richard A. Houghton, Peter V. Potapov, Daniela Requena Suarez, Rosa M. Roman-Cuesta, Sasson S. Saatchi, Christy M. Slay, Svetlana A. Turubanova & Alexandra Tyukavina

Nature Climate Change (2021) | Cite this article

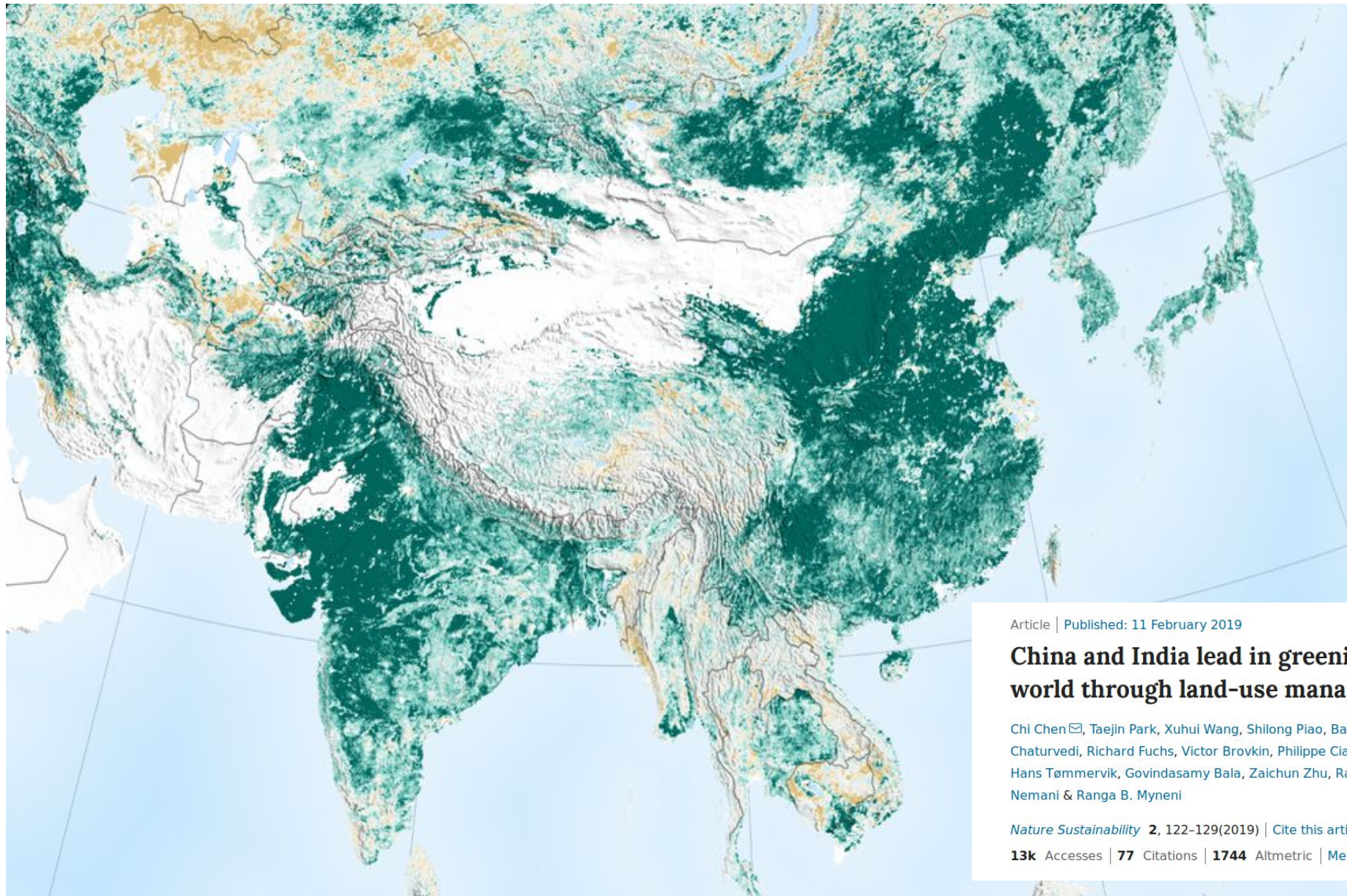
1998 Accesses | 441 Altmetric | Metrics



Average annual flux (MtCO₂e yr⁻¹)

а — валовые годовые выбросы парниковых газов; б — валовое годовое поглощение парниковых газов; в — чистый годовой поток парниковых газов. Значения в легенде отражают среднегодовой поток парниковых газов

«Глобальное озеленение»? «Зарастание пустынь»?



Trend in Annual Average Leaf Area (% per decade, 2000-2017)



... - ВЫВОДЫ, делаемые из-за использования только удобных критериев, вместо всех ОТНОСЯ

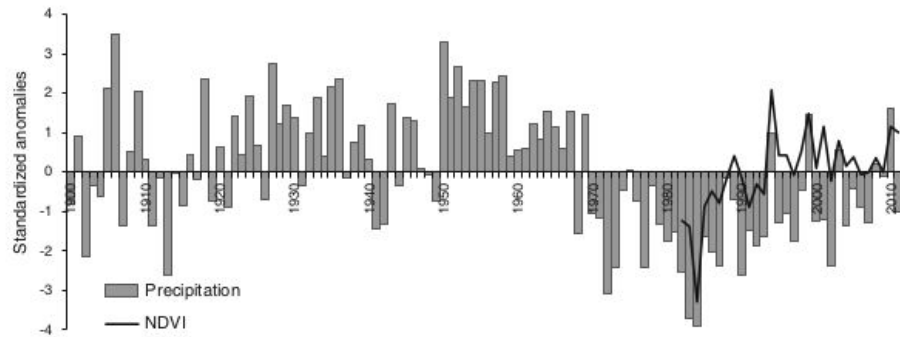


Fig. 5.4 Standardized June–October Sahel precipitation anomalies (10°–20°N and 20°W–10°E) from 1900 to 2011 (doi: [10.6069/H5MW2F2Q](https://doi.org/10.6069/H5MW2F2Q)) and standardized NOAA AVHRR NDVI anomalies for the same region from 1982 to 2011. Both indices show a similar temporal pattern (Pearson's linear correlation coefficient: 0.82) for the three decades of overlap, illustrating the strong link between rainfall and vegetation greenness. Temporal trends in both variables are positive since 1982; at a secular timescale, however, the rainfall trend is negative.

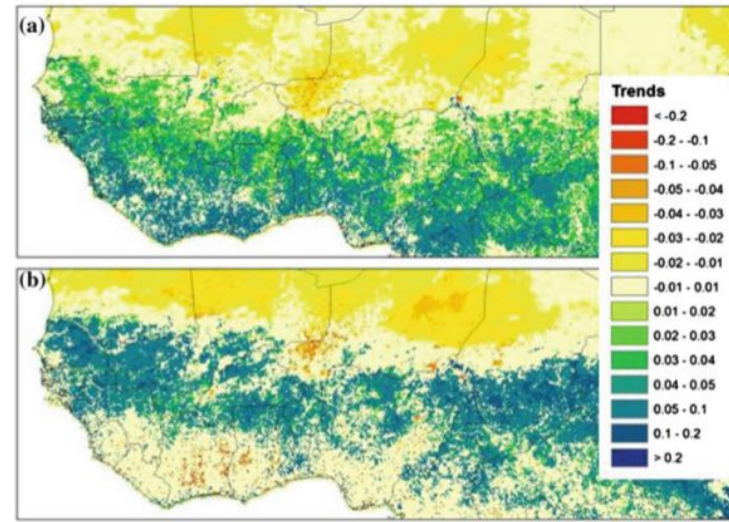


Fig. 5.3 Regional trends in **a** mean annual NDVI and **b** mean growing season (July–October) NDVI, derived from the NOAA AVHRR time series 1982–2011 (GIMMS 3G dataset) (Pinzo and Tucker 2014), show predominantly positive trends in the Sahel and Sudan zones. Note the differences in spatial patterns of greening depending on inclusion of annual or seasonal NDVI.

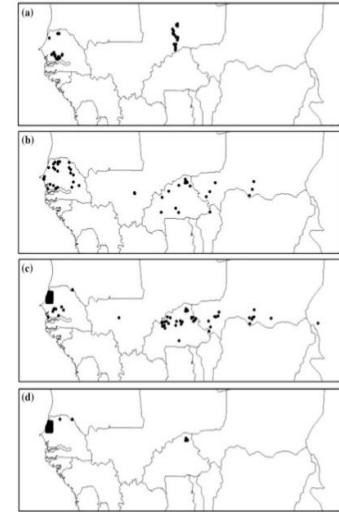


Fig. 5.5 Location of field sites of published studies (see Sects. 5.3.1–5.3.3) of woody vegetation change in the Sahel and Sudanian zones: **a** sites of studies using size class distributions, **b** sites of studies using historical knowledge, **c** sites of studies using ethnobotanical knowledge, **d** sites of studies using high resolution remote sensing imagery.

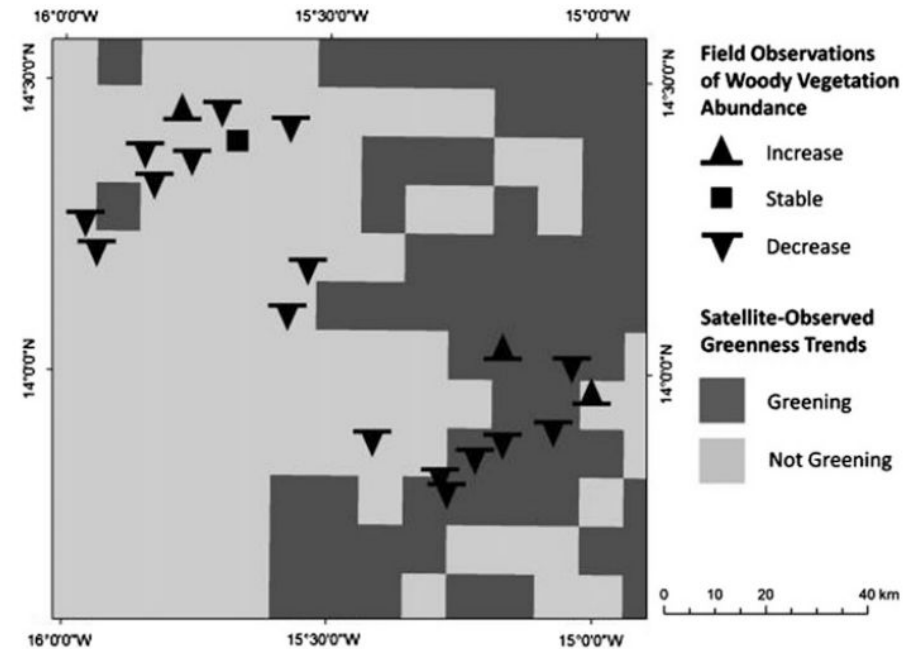
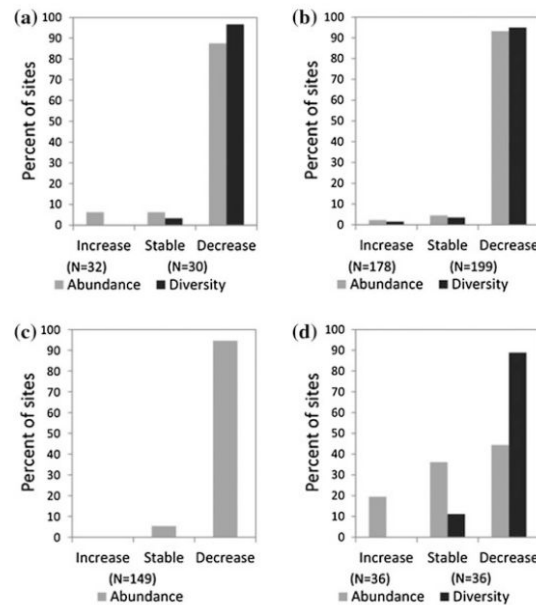


Fig. 5.9 Spatial overlay of the direction of changes in woody vegetation abundance as observed on the ground and of a binary map of satellite-observed greenness trends (greening vs. not greening) for a subset of study sites in central Senegal. Ground observations of decreasing woody vegetation cover appear to dominate throughout the area, whether coinciding with the satellite-observed greening trend or not.

Сравнение индексов, оцениваемых со спутников, с динамикой растительности на Земле, особенно медленней изменяющейся древесной, показывает недостаточность их разрешения и артефактам, искажающим реальные изменения «в обе стороны». Почему они требуют контроля геоботаниками и ландшафтоведом «в поле». Другой важный момент — показывая (с поправкой на искажения) сдвиг общей площади растительности, они не оценивают потерь от «дырок», созданных нарушениями, вроде застройки с пожарами, либо восстановления, при посадке лесов.

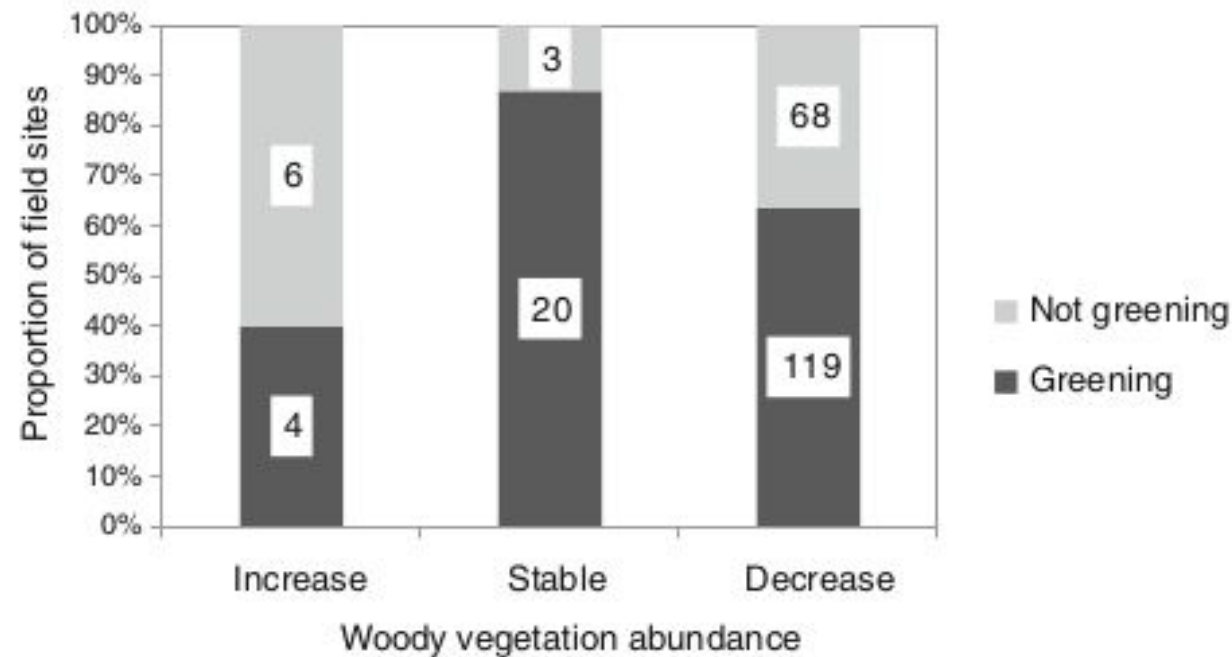


Fig. 5.10 Proportion and number of field sites with increasing, stable and decreasing woody vegetation abundance that spatially coincide with satellite-observed greening and not greening respectively. Satellite-observed greening—represented by growing season (July–October) trends in NDVI from 1982 to 2011—dominates by 65–35 %, whereas on the ground increase in woody cover was observed in only 10 sites compared to decrease in 187 sites.

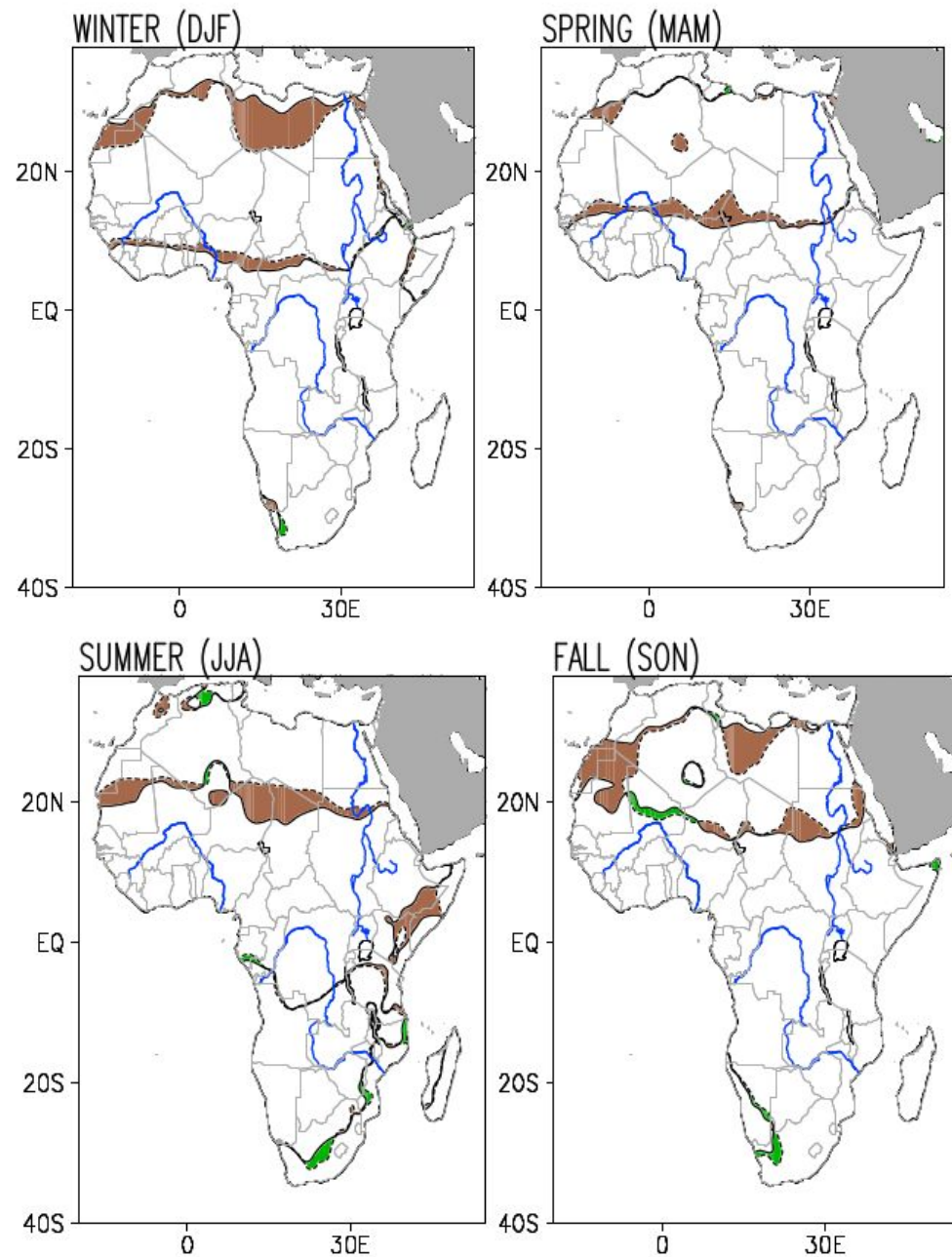


FIG. 4. Advance or retreat of the Sahara Desert over the 1902–2013 period, seasonally. The dashed (solid) brown lines denote the $0.274 \text{ mm day}^{-1}$ precipitation isolines in the synthetic 1902 (2013) precipitation map obtained from the endpoint analysis (cf. section 2). The brown (green) shaded areas denote desert advance (retreat). (Note that the observed precipitation distribution at the period endpoints cannot be directly used as it includes both interannual and decadal–multidecadal variability components.)

Twentieth-Century Climate Change over Africa: Seasonal Hydroclimate Trends and Sahara Desert Expansion

NATALIE THOMAS AND SUMANT NIGAM¹

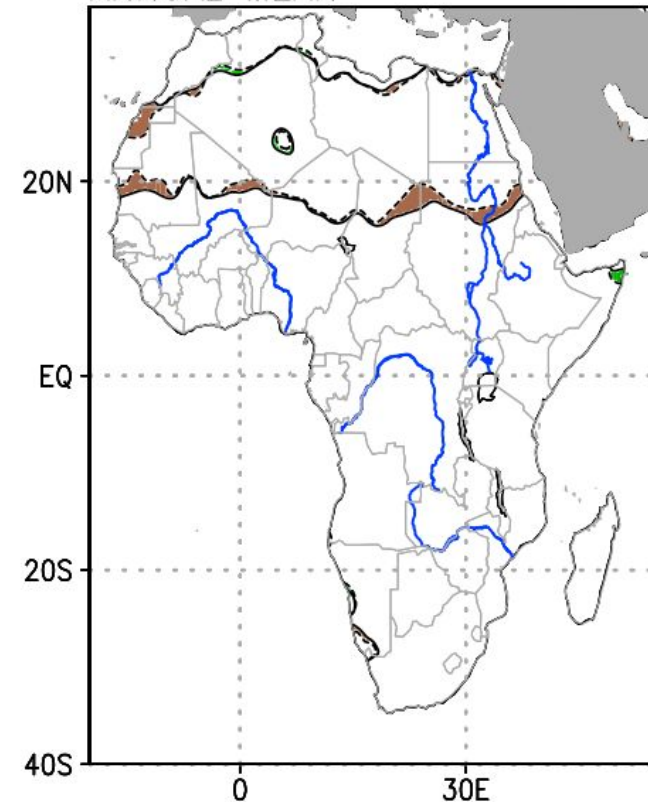
Department of Atmospheric and Oceanic Science, University of Maryland, College Park, College Park, Maryland

(Manuscript received 21 March 2017, in final form 9 November 2017)

TABLE 1. Expansion of the Sahara Desert: seasonally during 1902–2013 and annually during 1920–2013, based on the movement of the 100 and 150 mm yr^{-1} precipitation isolines. The expansion is computed using both area-trend and endpoint methods; endpoint values are in parentheses. Both methods are described in section 2. The areal values are rounded off to the nearest 1000 km^2 (which is about 1/5 of the 0.5° grid cell area at the equator). DJF refers to boreal winter months (December, January, and February), and so on. The impacted countries are identifiable only from the endpoint method; the ones in boldface are the most impacted by desert advance.

	Threshold (mm yr ⁻¹)	Winter (DJF)	Spring (MAM)	Summer (JJA)	Fall (SON)	Annual (1920–2013)
Climatological Sahara extent (km ²)	100	13 686 000 (12 868 000)	10 540 000 (9 979 000)	7 725 000 (6 198 000)	7 583 000 (6 136 000)	7 426 000 (6 890 000)
	150	14 557 000 (13 872 000)	11 420 000 (10 782 000)	8 492 000 (7 351 000)	8 736 000 (8 018 000)	8 528 000 (7 947 000)
Sahara expansion (km ²)	100	2 246 000 (2 348 000)	1 287 000 (1 132 000)	876 000 (1 594 000)	1 354 000 (2 048 000)	711 000 (738 000)
	150	1 800 000 (1 433 000)	1 009 000 (627 000)	847 000 (1 478 000)	999 000 (1 366 000)	718 000 (549 000)
Sahara expansion (% of climatological area)	100	16% (18%)	12% (11%)	11% (26%)	18% (33%)	10% (11%)
	150	12% (10%)	9% (6%)	10% (20%)	11% (17%)	8% (7%)
Countries affected		Libya, Egypt, Tunisia, Algeria, Morocco, Sudan, Chad, Morocco, Western Sahara, Niger, Nigeria, Burkina Faso, Mali, Senegal, and Guinea	Mauritania, Western Sahara, Libya, Egypt, Algeria, Morocco, Western Sahara, Mali, Niger, Chad, and Sudan	Libya, Egypt, Algeria, Morocco, Western Sahara, Mali, Niger, Chad, and Sudan	Libya, Egypt, Algeria, Morocco, Western Sahara, Mali, Niger, Chad, and Sudan	Libya, Egypt, Algeria, Morocco, Western Sahara, Mali, Niger, Chad, and Sudan

ANNUAL MEAN



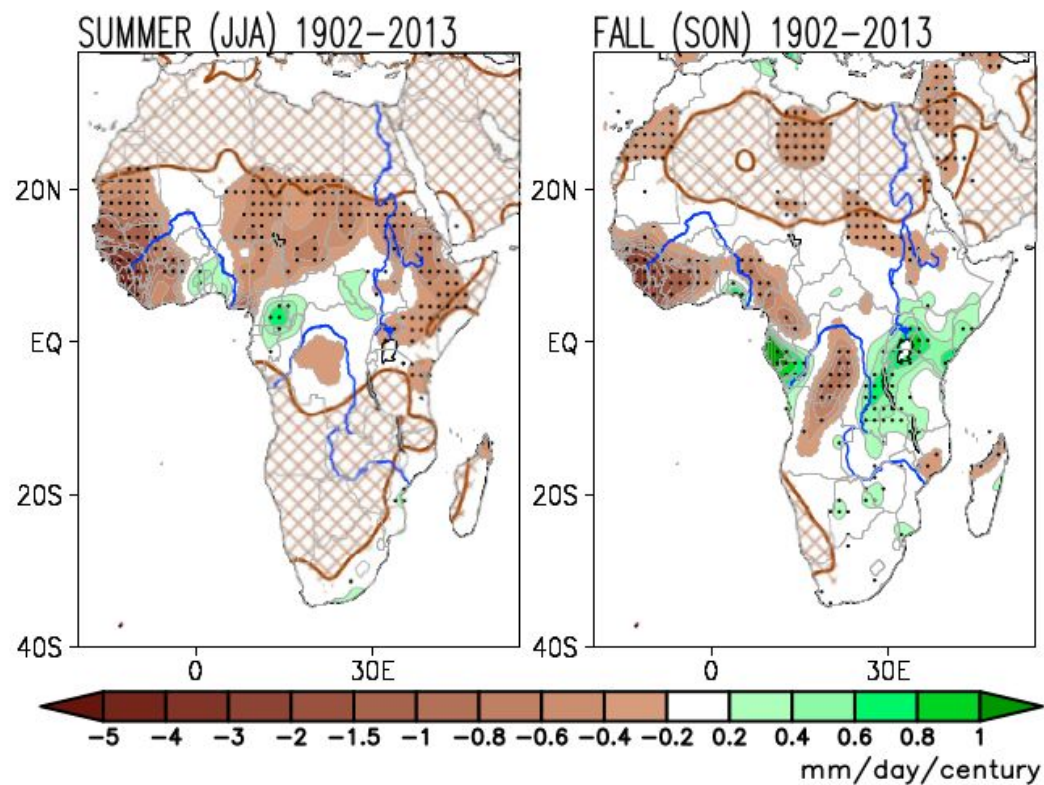
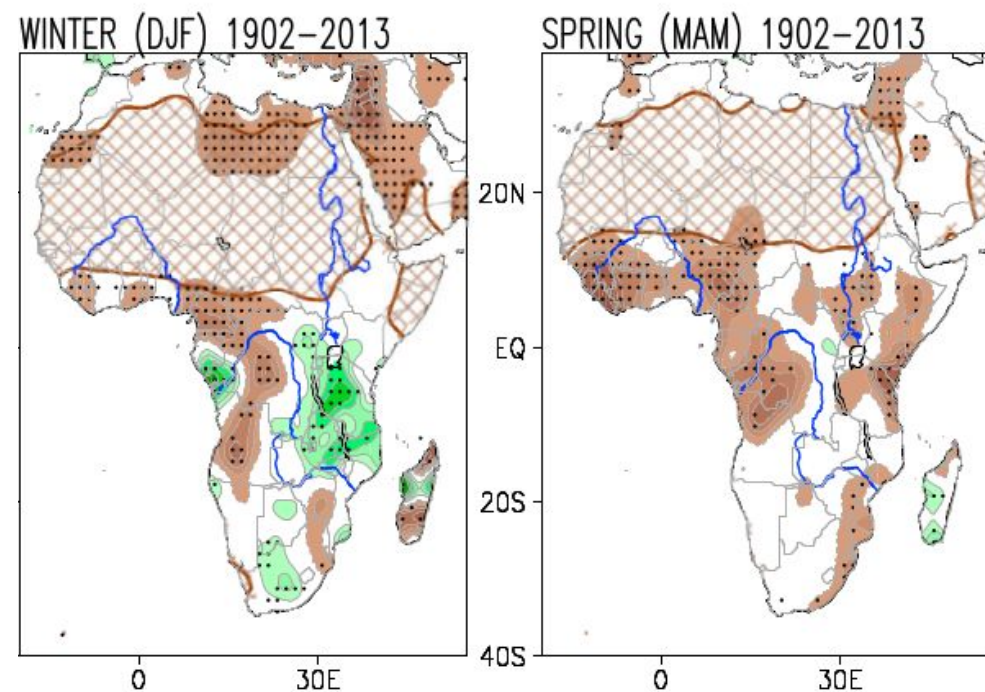


FIG. 3. Linear trends in seasonal precipitation over the African continent during 1902–2013, from the 0.5° resolution GPCC dataset ($\text{mm day}^{-1} \text{ century}^{-1}$). The nonuniform contouring and shading interval is indicated via the color bar. Thick solid brown contours mark the $0.274 \text{ mm day}^{-1}$ climatological precipitation isoline, and brown hatching indicates regions where climatological precipitation is below $0.274 \text{ mm day}^{-1}$ (or 100 mm yr^{-1})—a precipitation threshold used for defining the Sahara Desert. Fields are shown after nine applications of the 9-point smoother (smth9) in GrADS. Trends significant at the 95% confidence level are denoted with black dots. Major rivers are shown in thin blue lines and country boundaries in thin gray lines.

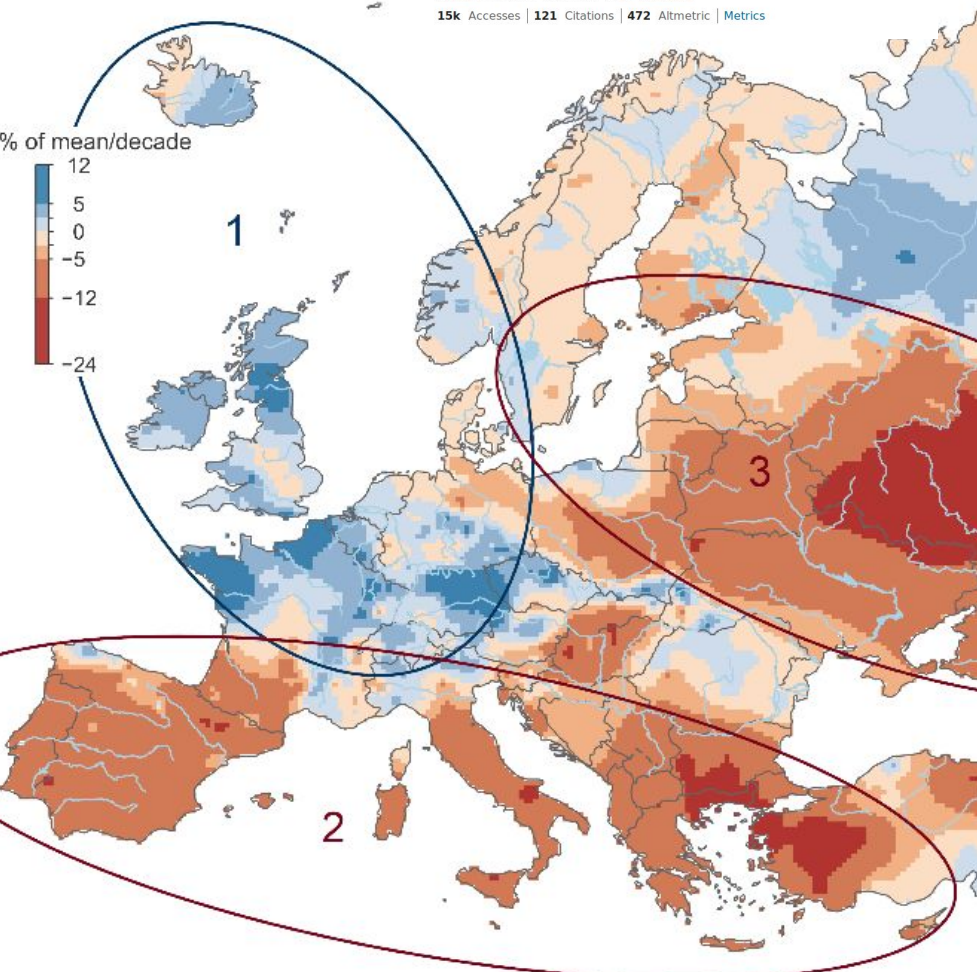


Changing climate both increases and decreases European river floods

Günter Blösch¹, Julia Hall, [...] Nenad Živković

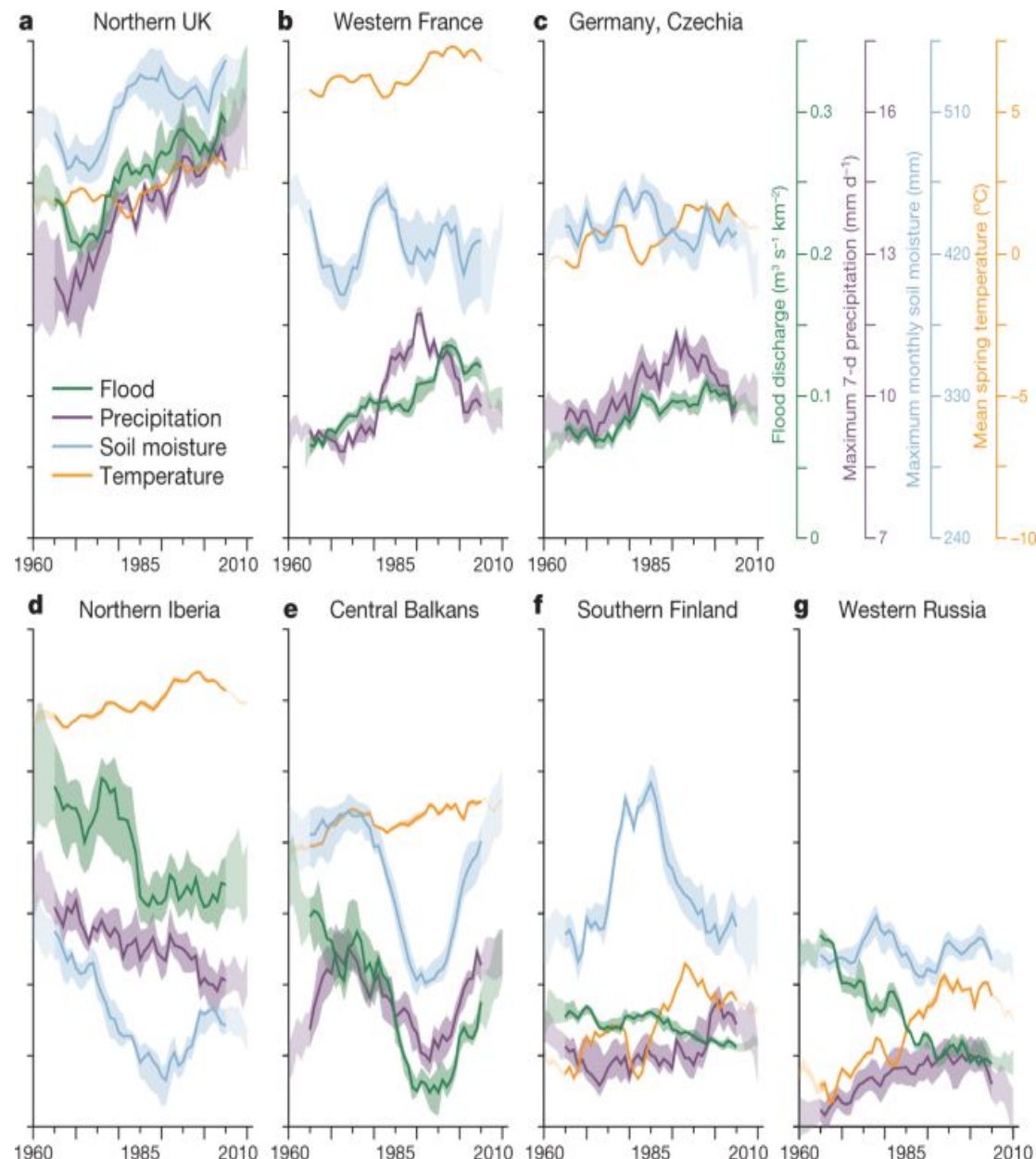
Nature 573, 108–111 (2019) | Cite this article

15k Accesses | 121 Citations | 472 Altmetric | Metrics



Региональные различия в трендах изменения максимальных расходов воды в Европе за 1960 — 2010 годы. Синим отмечено увеличение максимальных расходов воды, красным — уменьшение расходов (в процентах за десятилетие). 1 — Северо-Западная Европа: увеличение количества осадков и влажности почвы. 2 — Южная Европа: уменьшение количества осадков и увеличение испарения. 3 — Восточная Европа: уменьшение снеготаяния и более раннее стаивание снежного покрова

Изменения, вызванные потеплением, ключны: какой из откликов ни возьми, в зависимости от местных обстоятельств на одних территориях идут в одну сторону, на других в противоположную, увеличивая общую мозаичность. Совокупный результат складывается как равнодействующая тех и других, т. е. локальный фактор (биоценозы, климат и нарушения) важнее общепланетарного изменения



Обратные связи с биоценозах, игнорируемые в большинстве климатических моделей, т. к. ещё не оценены количественно

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/32089629>

Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks

Article in Nature · January 2008
DOI: 10.1038/nature07108

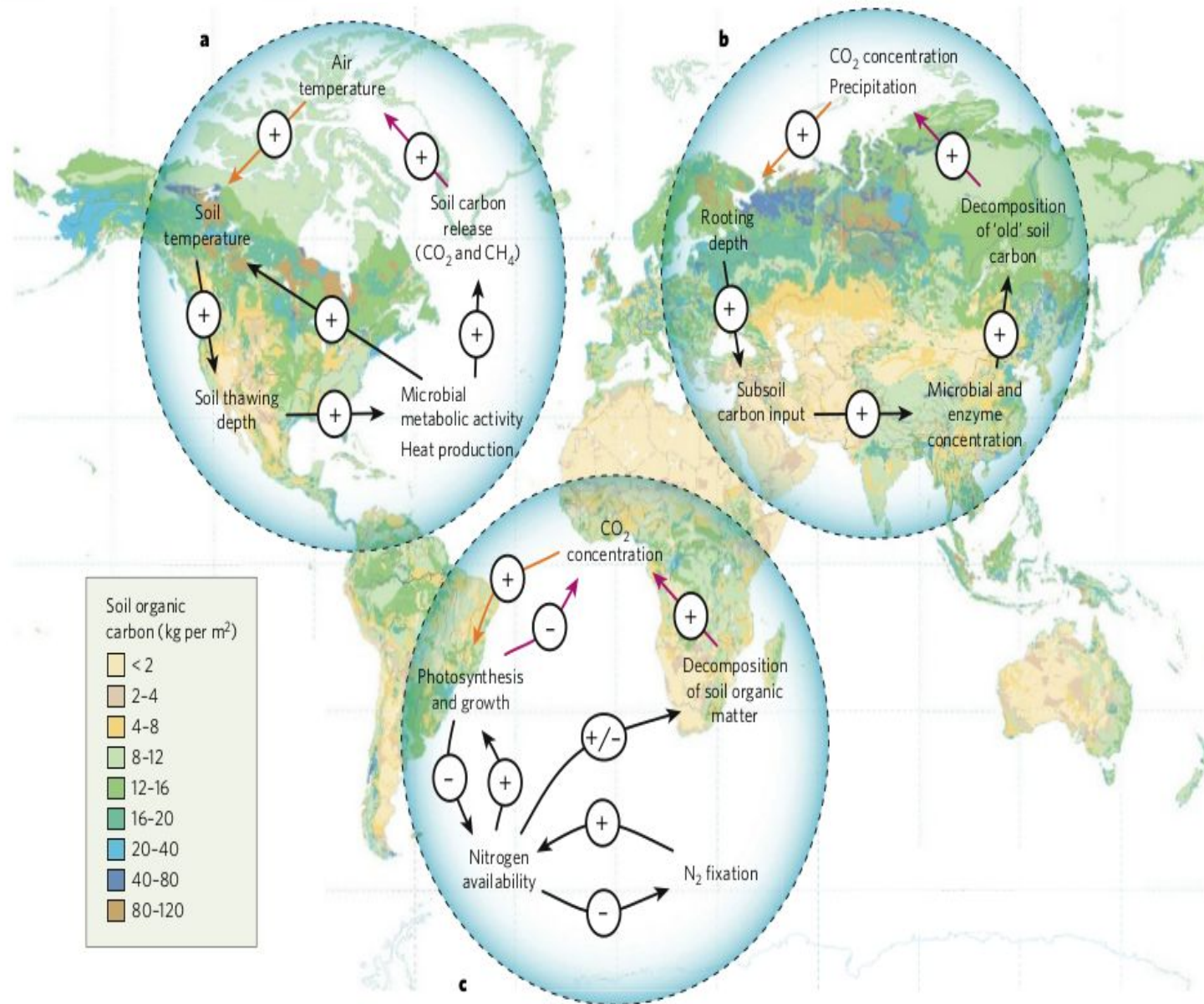
CITATIONS
813

READS
412

2 authors:

 Martin Heimann
Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena
485 PUBLICATIONS 32,397 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)

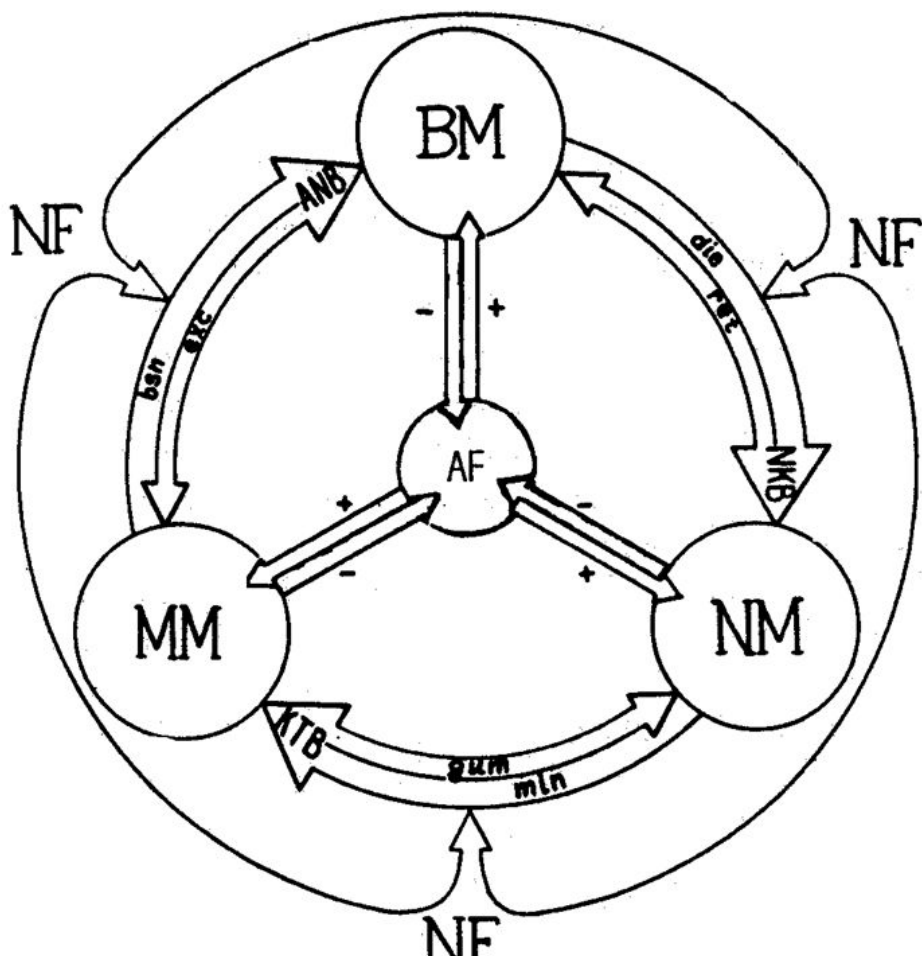
 Markus Reichstein
Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena
458 PUBLICATIONS 39,404 CITATIONS
[SEE PROFILE](#)



- повышение активности микробного метаболизма при протаивании вечномёрзлых почв → их дополнительный нагрева и большая эмиссия углерода в атмосферу;
- потепление → усиление роста корней растений при росте температур с выделением в почву органических веществ → роста числа питающихся ими бактерий, усиление разложения органики, что раньше была стабильной → большая эмиссия углерода в атмосферу;
- рост первичной продукции → дефицит азота в почве → грибы в качестве источника азота используют ранее не трогавшийся лигнин → больше органики вовлекается в круговорот → большая эмиссия углерода.

Табл.1. Запасы углерода в лесах разных климатических поясов (NEESPI, 2004 а, с изменениями).

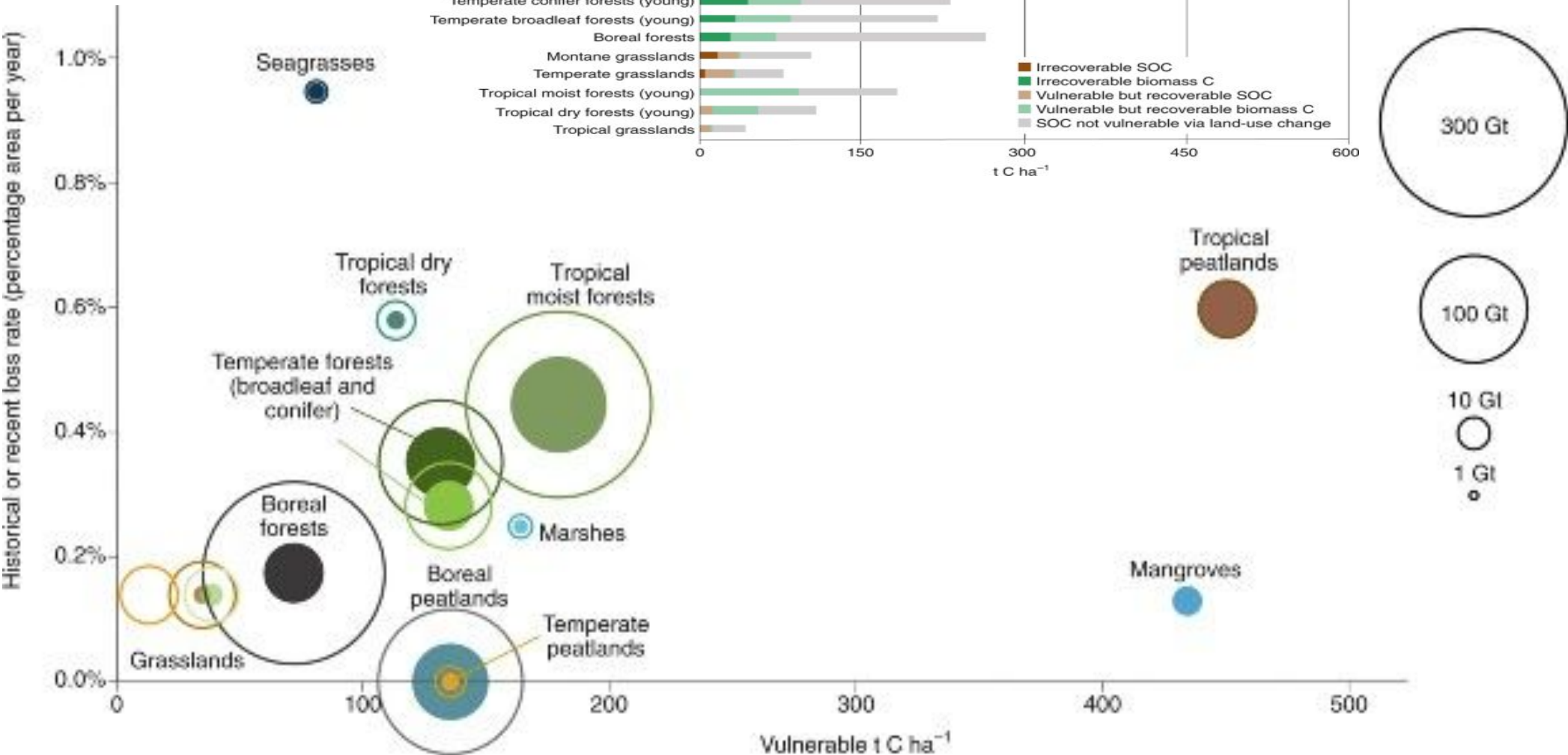
Тип леса	Площадь, млн. га	Запас С в почве, Гт	Запас С в растительности, Гт	Общий запас С, Гт	Общий запас С, Гт (МГЭИК, 2000)
Бореальные	1509	624	51	675	559
Умеренные	1040	100	21	121	159
Тропические	1756	216	159	375	428



Структурно-функциональная схема экосистемы

Обозначения: ВМ - биомасса; НМ - некромасса; ММ - минеральная масса; NF - естественные факторы; АФ - антропогенные факторы; ANB - анаболизм; НКВ - некроболизм; КТВ - катаболизм; bsn - биосинтез; exs - экскреции; die - отмирание; ret - возврат ассимилятов; min - минерализация; gum - гумификация.

Коричневый — углерод, запасённый в почве, зелёный — в биомассе; Тёмно-коричневый и тёмнозелёный — невозстановимая часть углеродного запаса, серая — неугрожаемая, светло-коричневая и светлозелёная — угрожаемая, но восстанавливаемая



Внешние круги показывают валовое содержание углерода в экосистеме, а внутренние - его невозполнимую часть. По оси абсцисс отображаются запасы уязвимого углерода в тоннах на гектар, а по оси ординат - их ежедневная потеря в %

Perspective | Published: 31 March 2020

Protecting irrecoverable carbon in Earth's ecosystems

Allie Goldstein [✉](#), Will R. Turner, Seth A. Spawn, Kristina J. Anderson-Teixeira, Susan Cook-Patton, Joseph Fargione, Holly K. Gibbs, Bronson Griscom, Jennifer H. Hewson, Jennifer F. Howard, Juan Carlos Ledezma, Susan Page, Lian Pin Koh, Johan Rockström, Jonathan Sanderman & David G. Hole

Nature Climate Change **10**, 287–295(2020) | [Cite this article](#)

4082 Accesses | 15 Citations | 327 Altmetric | [Metrics](#)

Чем плохи «одноточные теории»?

- а. Смотрят лишь на (+)- или (-)-эффекты происходящего, вместо того чтобы считать сальдо, хотя действия фактора неизменно двусторонни.
- б. Ориентируются лишь на методы, дающие благоприятные данные для их теории, вместо анализа результатов разных методов, проверяющих друг друга, чтобы вывод давал наилучшее объяснение для разного рода данных — а не одного, самого удобного.
- в. Игнорируют вторичные отклики на действие фактора, способные поменять знак воздействия на противоположный, качественно изменить результат (а надо учесть всю сеть последствий, запущенных действием фактора).

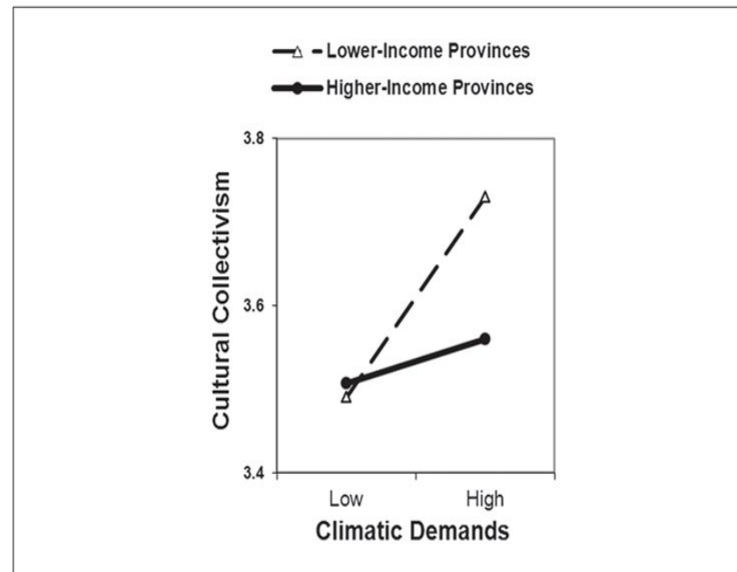


Figure 1. Effect of Climatic Demands on Cultural Collectivism at the Provincial Level, Broken Down for Lower Income and Higher Income Provinces



Climato-Economic Imprints on Chinese Collectivism

Journal of Cross-Cultural Psychology
44(4) 389-405
© The Author(s) 2012
Reprints and permissions:
sagepub.com/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0022022112463605
jccp.sagepub.com
SAGE

Evert Van de Vliert^{1,2}, Huadong Yang³,
Yongli Wang⁴, and Xiao-peng Ren⁵

About the Cover



ОПЛОЖНО
фактор воз
естных об
т же моме
тветов, и
долговре



Fig. 1. Percent of cultivated land devoted to rice paddies in 1996. Three major herding provinces are not shaded: Tibet, Xinjiang, and Inner Mongolia. Along the rice-wheat border (highlighted), people

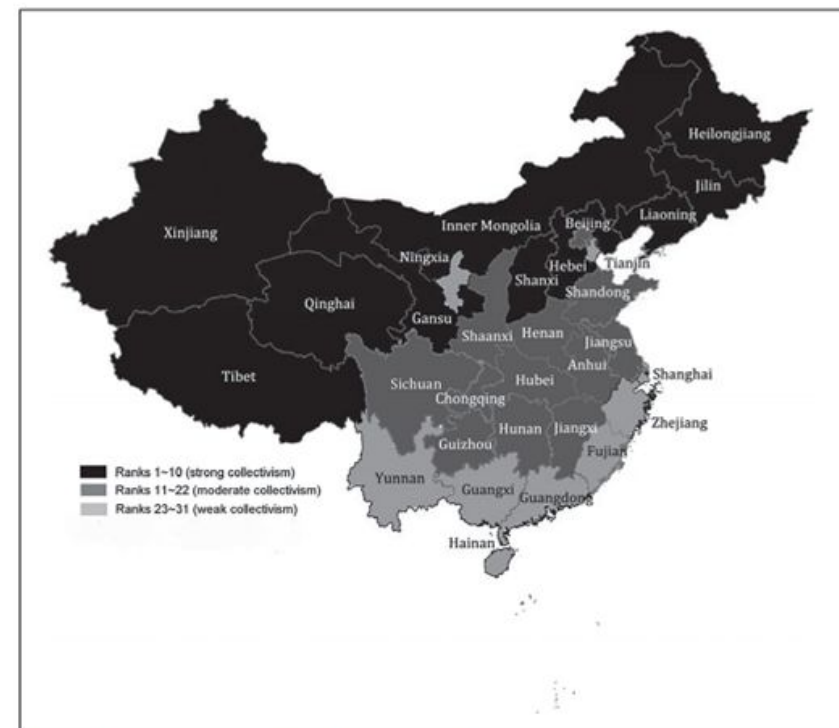
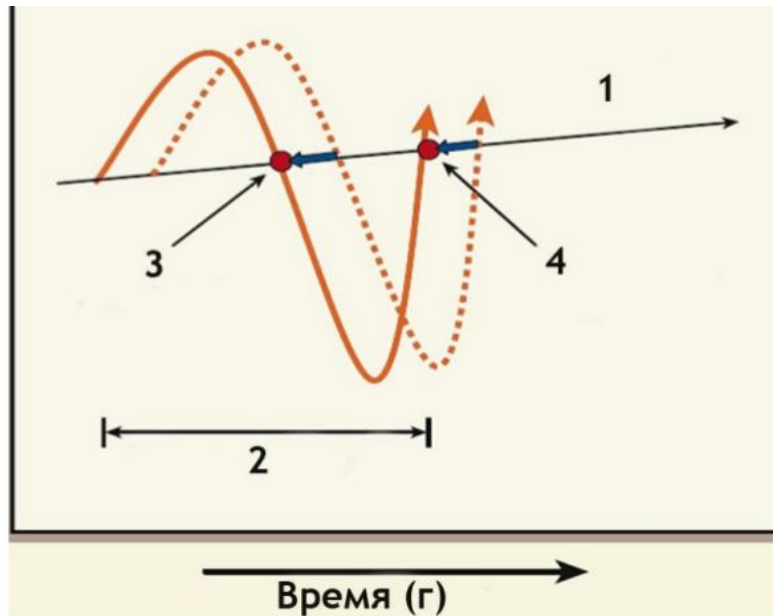


Figure 2. Regional Patterns of Cultural Collectivism in China

С ростом концентрации CO₂ экосистемы быстрее «съедают» накопленный углерод, чем связывают новый...



б. Сезонные колебания содержания CO₂ в атмосфере, наложенные на линию многолетнего тренда (1)

Рис. 15. Сдвиг фенотат вследствие потепления не ведёт к большему связыванию CO₂.
Обозначения. «Показан один годовой цикл (2). 3 – «весеннее пересечение нуля»: дата начала преобладания фотосинтеза над дыханием в годовом цикле и её сдвиг в связи с потеплением (жирная стрелка слева), 4 – «осеннее пересечение нуля»: дата обратного преобладания дыхания и её сдвиг (жирная стрелка справа). Прочие обозначения см. рис. 15а.



Рис. 15. а) Многолетние изменения концентрации CO₂, полученные обсерваторией Мауна-Лоа на о.Гавайи
Обозначения. Ось X – годы, ось Y – концентрация углекислого газа, частей на миллион, врезка справа – годовой цикл изменения концентраций.

- Процесс идёт как минимум с 1990-х гг., по нарастающей

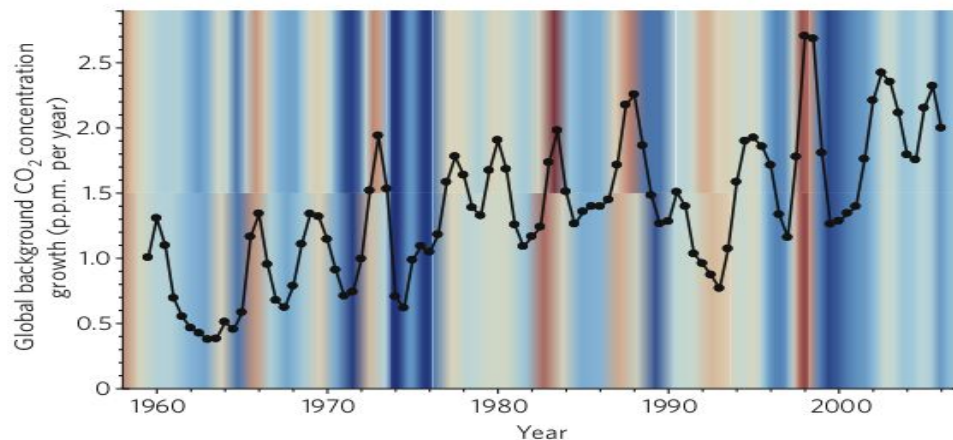


Figure 1 | Estimated growth rate of the global background atmospheric CO₂ concentration. Global CO₂ concentration is estimated from measurements from the South Pole and the Mauna Loa (Hawaii) long-term monitoring stations (ref. 17, updated). The black dots represent centred annual averages calculated at six-monthly intervals. The coloured background shows the variation of the multivariate El Niño–Southern Oscillation index. Blue shades indicate negative phases, and brown shades positive phases, of this index¹⁸. p.p.m., parts per million.

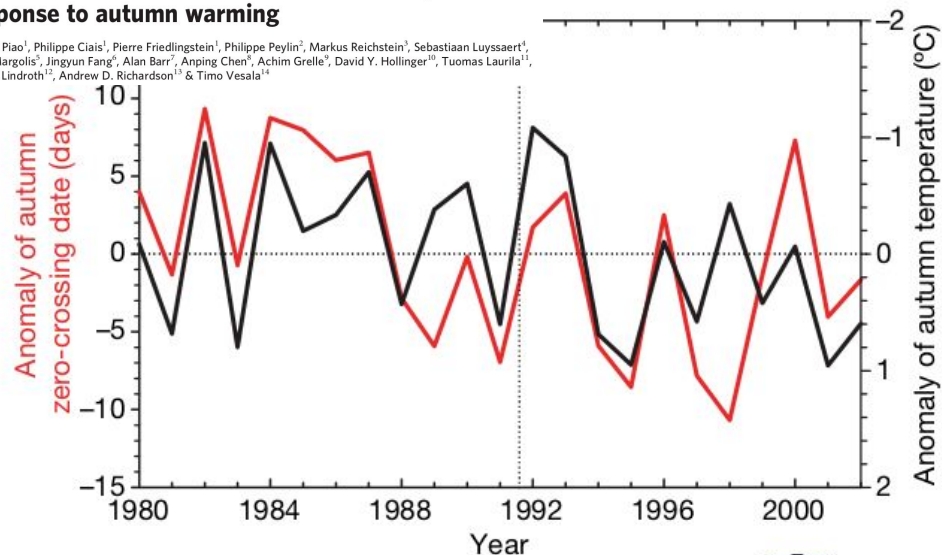
«Экосистемы поглощают всё меньшую долю от того огромного количества углекислого газа, которое ежегодно попадает в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива, производства цемента и выжигания растительности. Если до недавнего времени по мере увеличения выбросов CO₂ в атмосферу пропорционально возрастало и связывание его растениями в ходе фотосинтеза (в меньшей степени – также фитопланктоном океана), то теперь биосфера за человеком уже не успевает.

К такому тревожному выводу пришла группа ученых из разных стран на основании исследования сезонных колебаний концентрации CO₂ в различных точках Северного полушария. По их данным, сообщается, что усиление связывания CO₂ растительностью весной (которая становится теплее и наступает всё раньше) фактически сводится на нет резким усилением выделения CO₂ экосистемами в осенний период (который всё чаще становится аномально теплым). Осеннее выделение CO₂ есть результат резкого усиления процесса дыхания всех организмов (в том числе растений, но главным образом бактерий и грибов) в ответ на повышение температуры.

LETTERS

Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming

Shilong Piao¹, Philippe Ciais¹, Pierre Friedlingstein¹, Philippe Peylin², Markus Reichstein³, Sebastiaan Luyssaert⁴, Hank Margolis⁵, Jingyun Fang⁶, Alan Barr⁷, Anping Chen⁸, Achim Grelle⁹, David Y. Hollinger¹⁰, Tuomas Laurila¹¹, Anders Lindroth¹², Andrew D. Richardson¹³ & Timo Vesala¹⁴



b

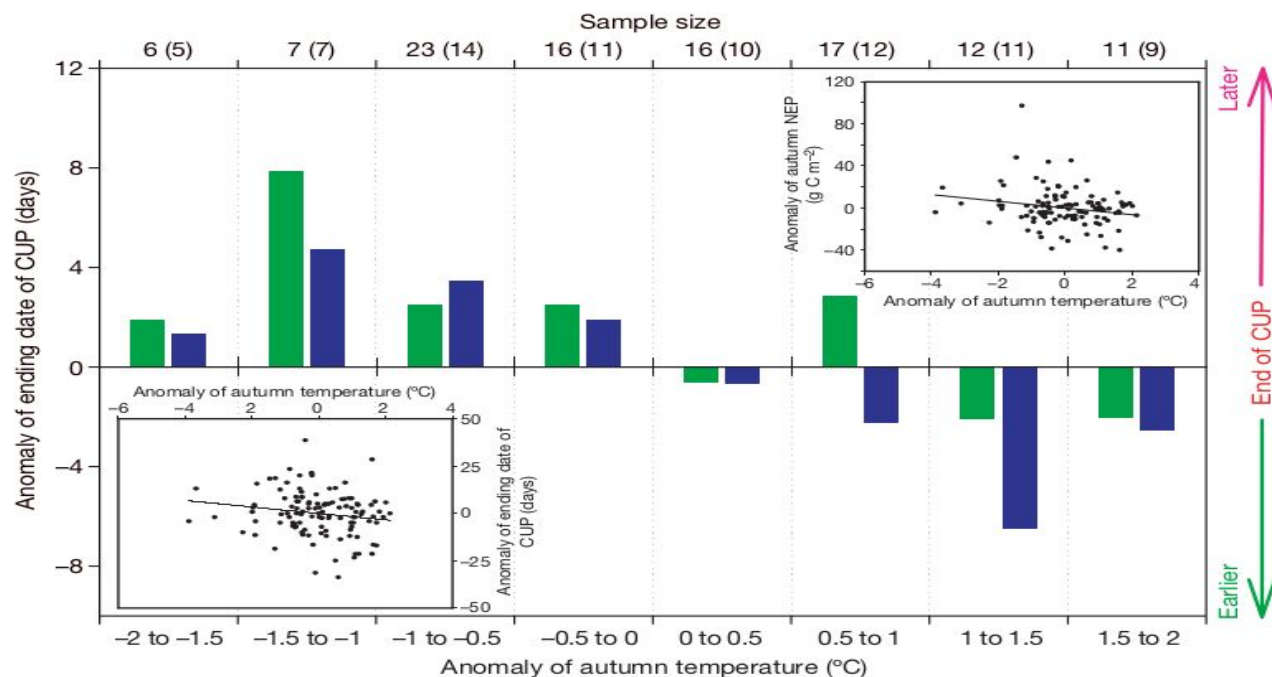
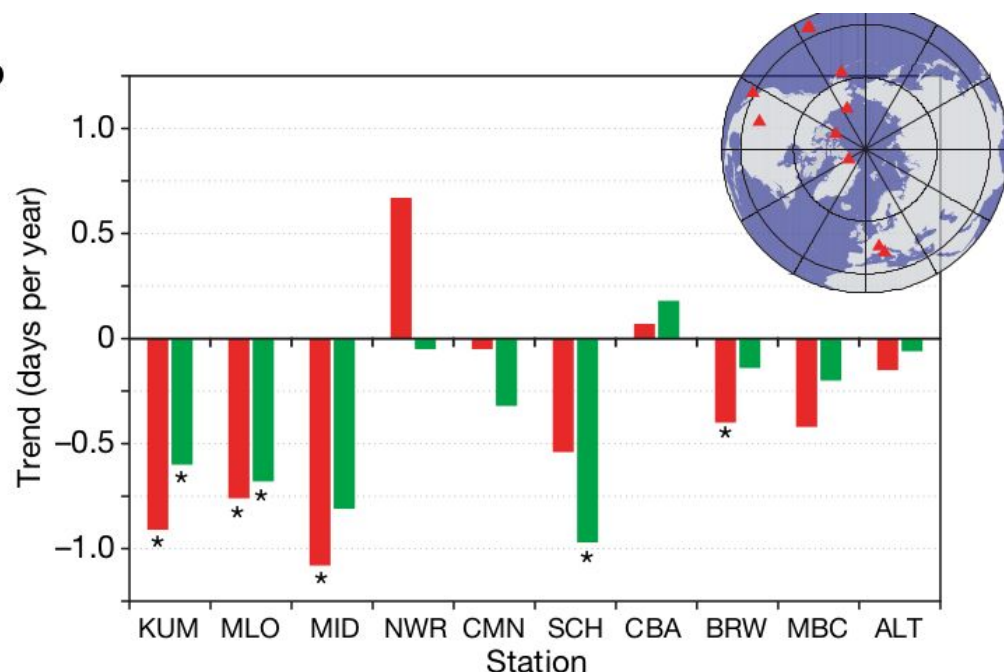


Figure 2 | Eddy-covariance flux data analysis from boreal sites in North America and Eurasia. A total of 108 site-years have been aggregated in this figure. The average (blue) and median (green) anomaly of ending date of net CUP is shown for different autumn temperature anomalies binned into 0.5 °C intervals. The top horizontal axis labels correspond to the number of site-years and sites (in parenthesis) in each temperature bin. The bottom left inset shows the relationships between ending date of CUP and temperature anomalies. There is a marginally negative correlation between autumn CUP ending date and temperature anomalies ($y = -1.7x - 0.0087$, $P = 0.07$). If we exclude the four site-years with the most extreme cold anomalies ($\Delta T < -2$ °C), the negative correlation between CUP ending date and temperature becomes highly significant ($P = 0.03$) and the slope is steeper ($y = -2.4x + 0.3007$), suggesting that below a certain threshold of cold anomaly there is no further decrease in respiration. The top right inset shows the relationships between autumn NEP and temperature anomalies. A positive NEP value indicates an increased carbon uptake. Autumn was defined as the 60-day interval around the average CUP ending date for each site. Eddy-covariance data show increased carbon losses under warmer conditions, with a temperature sensitivity of NEP of $-3.2 \text{ g C m}^{-2} \text{ °C}^{-1}$ ($y = -3.17x - 5 \times 10^{-6}$, $P = 0.04$).

«В рамках предложенного ранее осцилляционного механизма фотосинтеза, согласно которому ассимиляция CO_2 и фотодыхание представляют два реципрокных сопряженно осциллирующих процесса, контролируемых переключениями рибулозо-бисфосфат карбоксилазы/оксигеназы, дано объяснение связи между глобальным потеплением климата Земли, в значительной мере вызванным повышением концентрации CO_2 в атмосфере, и изменением изотопного состава углерода растений. Это объяснение находит подтверждение в изменении изотопного состава углерода годовичных колец деревьев и свидетельствует о том, что до 90-х гг. XX в. обогащение легким изотопом ^{12}C углерода годовичных колец деревьев было результатом усиления фотосинтетической ассимиляции CO_2 . Последующее наблюдаемое резкое обогащение углерода годовичных колец изотопом ^{13}C , продолжающееся по настоящее время, свидетельствует о том, что произошла потеря компенсирующей роли фотосинтеза бореальных лесов для климата Земли».

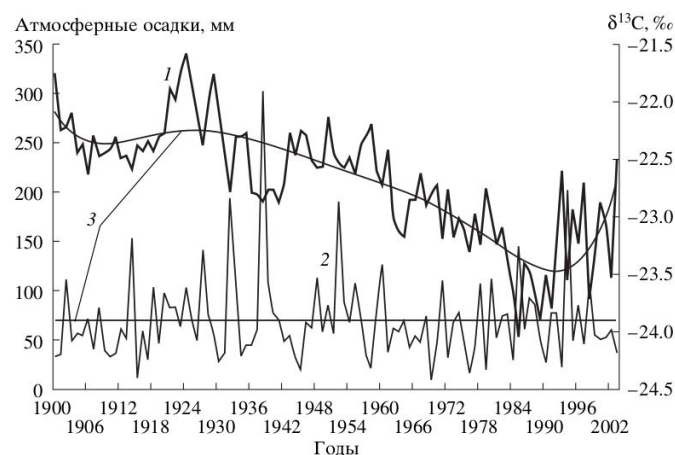


Рис. 4. Динамика $\delta^{13}\text{C}$ углерода годовичных колец лиственницы в Предбайкалье (1) и динамика осадков июня (2) по данным Иркутской ГМО.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ, 2007, № 6, с. 720–727

ЭКОЛОГИЯ

УДК 577.47+577.12:581.13

МЕХАНИЗМ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА ПРИ ФОТОСИНТЕЗЕ И УГЛЕКИСЛОТАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА

© 2007 г. А. А. Ивлев*, В. И. Воронин**

*Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 132
E-mail: aa.ivlev@g23.relcom.ru
Поступила в редакцию 31.11.2006 г.

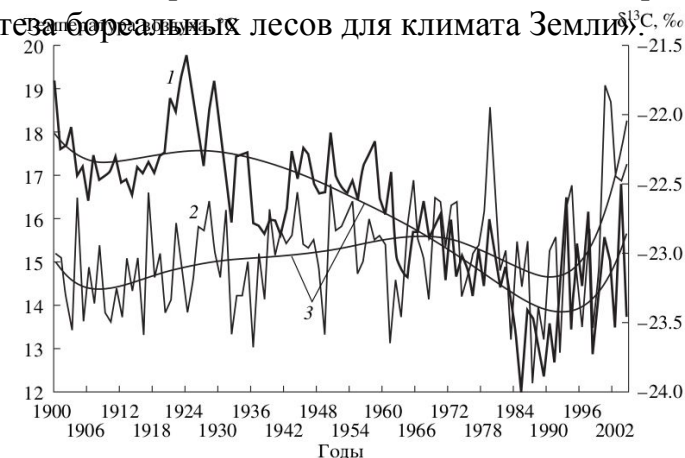


Рис. 3. Динамика $\delta^{13}\text{C}$ углерода годовичных колец лиственницы в Предбайкалье (1) и температуры июня (2) по данным Иркутской ГМО.

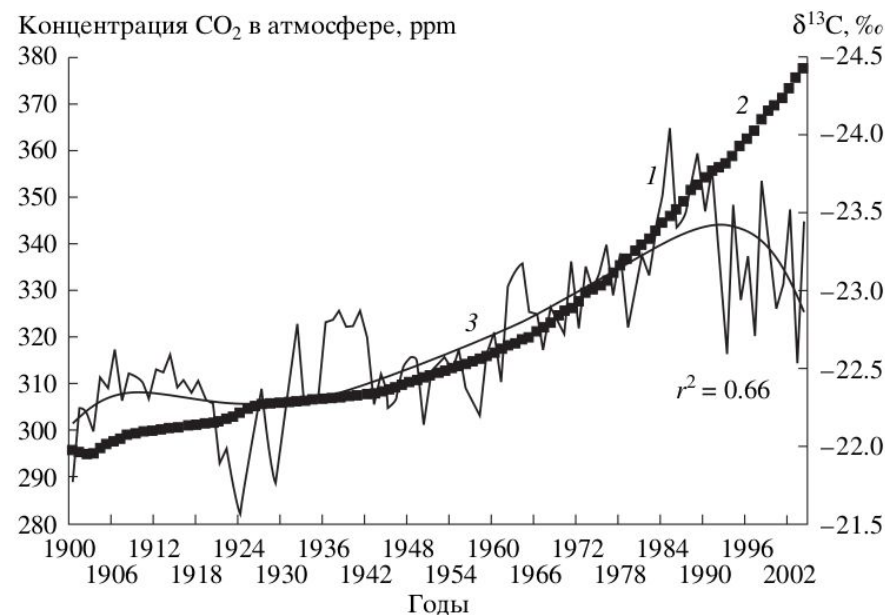


Рис. 2. Динамика $\delta^{13}\text{C}$ целлюлозы древесины лиственницы в Предбайкалье (1) на фоне изменения концентрации углекислого газа атмосферного воздуха (2) (станция Мауна-Лоа). Для $\delta^{13}\text{C}$ показаны абсолютные значения и полиномиальные тренды (3) (для рис. 2–4).

...и в первую очередь — в нарушенных природных сообществах, относительно ненарушенные реагируют гомеостатически, как и предполагалось.

Breathing of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems

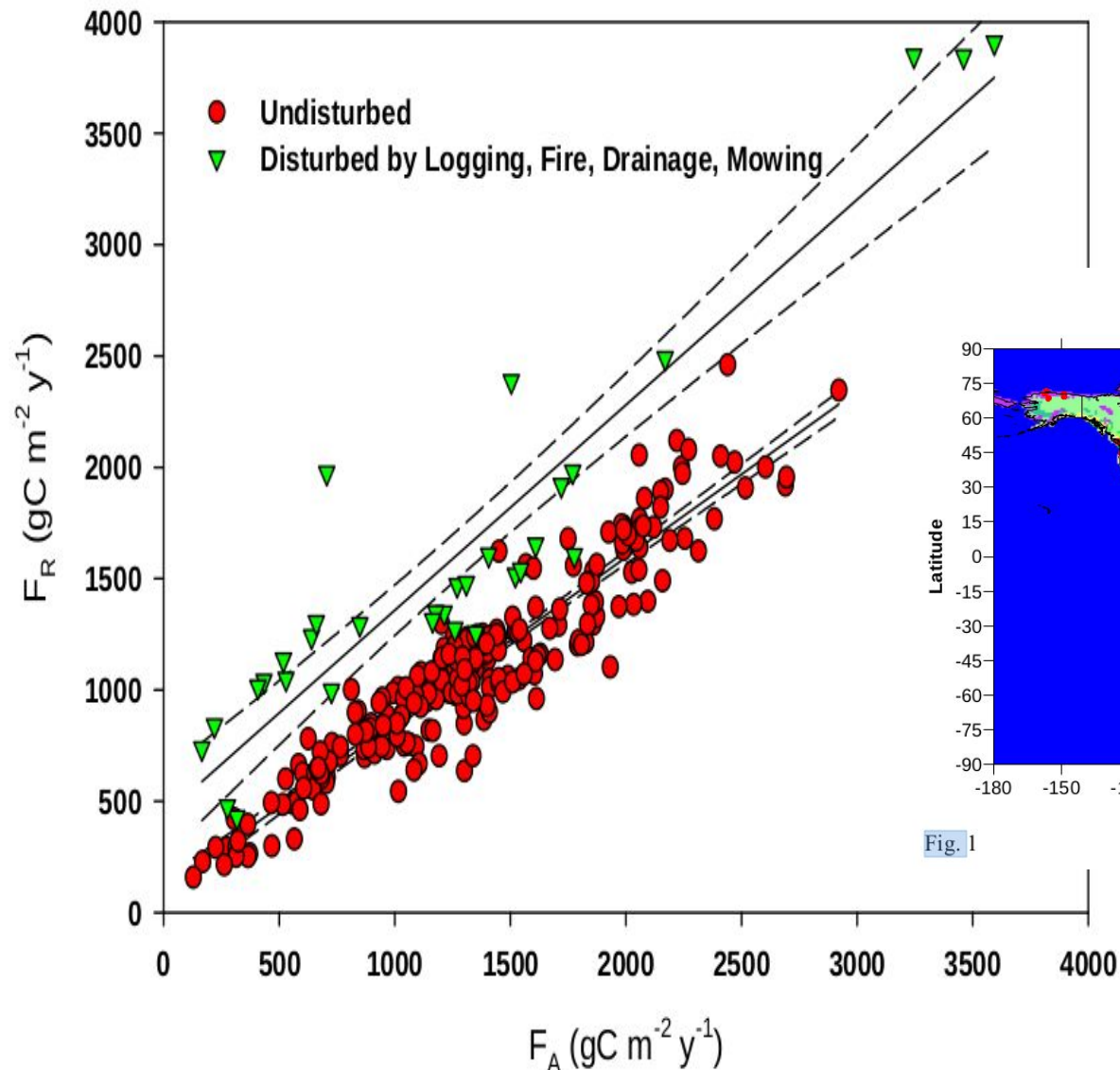
Article in *Australian Journal of Botany* 56(1) · November 2007 with 430 Reads

[Cite this publication](#)



Dennis Baldocchi

1148.08 · University of California, Berkeley



- Но поскольку нарушение прогрессирует, на земном шаре их остаётся всё меньше...

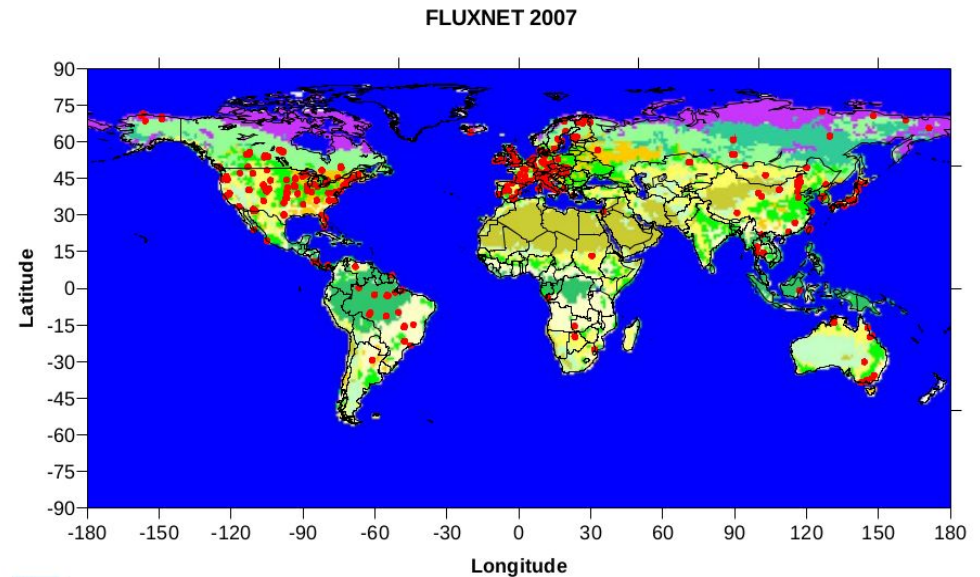


Fig. 1

Соотношение выделения и поглощения углерода при дыхании и фотосинтезе в нарушенных и ненарушенных экосистемах (Baldocchi, 2008)

По этой причине растительность чем дальше, тем неэффективней распоряжается климатическими ресурсами, теплом, влагой и выпадениями азота; даже там, где динамика их благоприятна

Снижение *NDVI* на 1 мм осадков

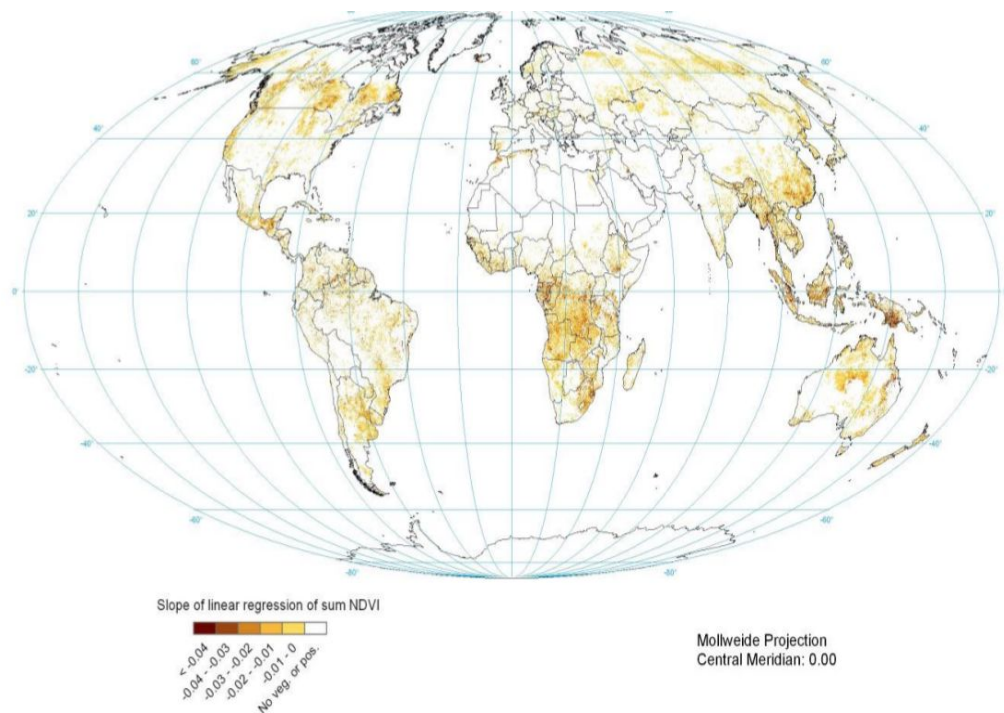


Figure 5. Global negative trend in RUE-adjusted NDVI, 1981-2003

Изменение *NDVI* на 1 градус суммарных годовых температур

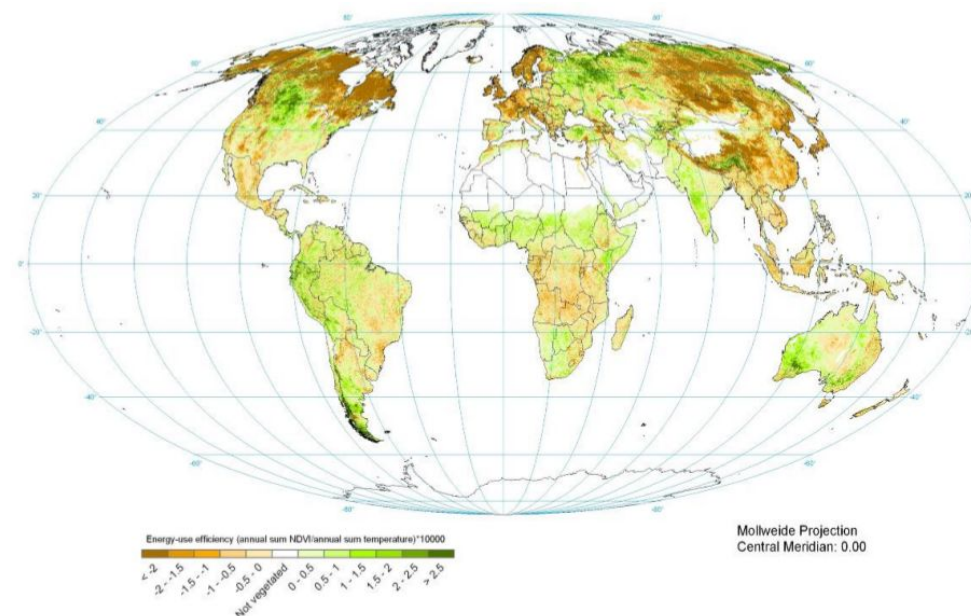


Figure 9. Global change in energy-use efficiency, 1981-2002

Global assessment of land degradation and improvement: 1. Identification by remote sensing

Article (PDF Available) · January 2008 with 626 Reads
DOI: 10.5167/uzh-76769
[Cite this publication](#)

	Z.G. Bai #131.27 · Tropical Agriculture Association
	Lennart Olsson #133.2 · Lund University
	M.E. Schaepman #133.35 · University of Zurich

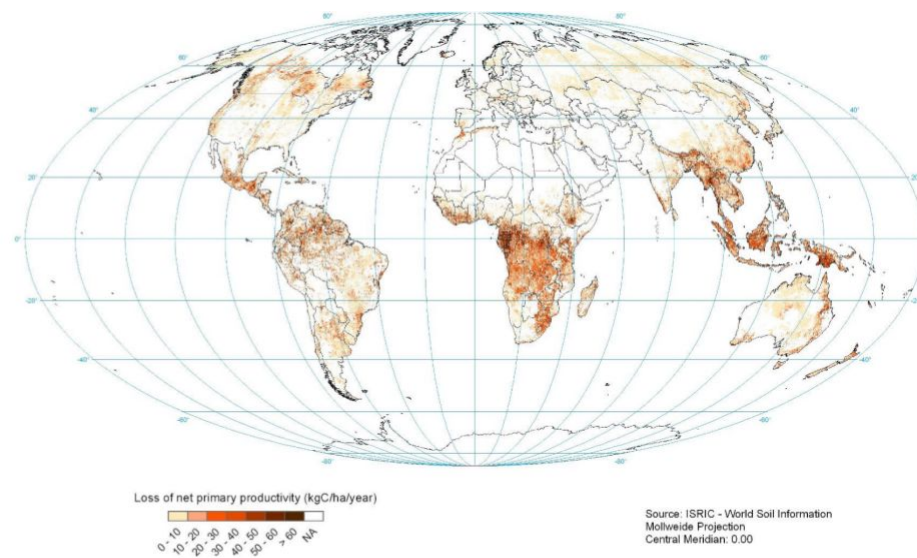


Figure 6. NPP loss in the degrading areas 1981-2003

Это продолжилось и усилилось в 2000-2009 гг....

Drought-Induced Reduction in Global Terrestrial Net Primary Production from 2000 Through 2009

Maosheng Zhao* and Steven W. Running

Terrestrial net primary production (NPP) quantifies the amount of atmospheric carbon fixed by plants and accumulated as biomass. Previous studies have shown that climate constraints were relaxing with increasing temperature and solar radiation, allowing an upward trend in NPP from 1982 through 1999. The past decade (2000 to 2009) has been the warmest since instrumental measurements began, which could imply continued increases in NPP; however, our estimates suggest a reduction in the global NPP of 0.55 petagrams of carbon. Large-scale droughts have reduced regional NPP, and a drying trend in the Southern Hemisphere has decreased NPP in that area, counteracting the increased NPP over the Northern Hemisphere. A continued decline in NPP would not only weaken the terrestrial carbon sink, but it would also intensify future competition between food demand and proposed biofuel production.

Данные за 1982–1993 гг. показали небольшое увеличение чистой первичной продукции, но за период 2000–2010 гг. она несколько уменьшилась. В целом, согласно имеющимся данным, можно с уверенностью говорить, что в течение последних 30 лет годовая чистая первичная продукция суши составляла 53,6 Пг (петаграмм, 10¹⁵ г, или, что тоже самое — миллиардов тонн) углерода. При этом колебания год от года не превышали 1 Пг, то есть были около 2% от средней.

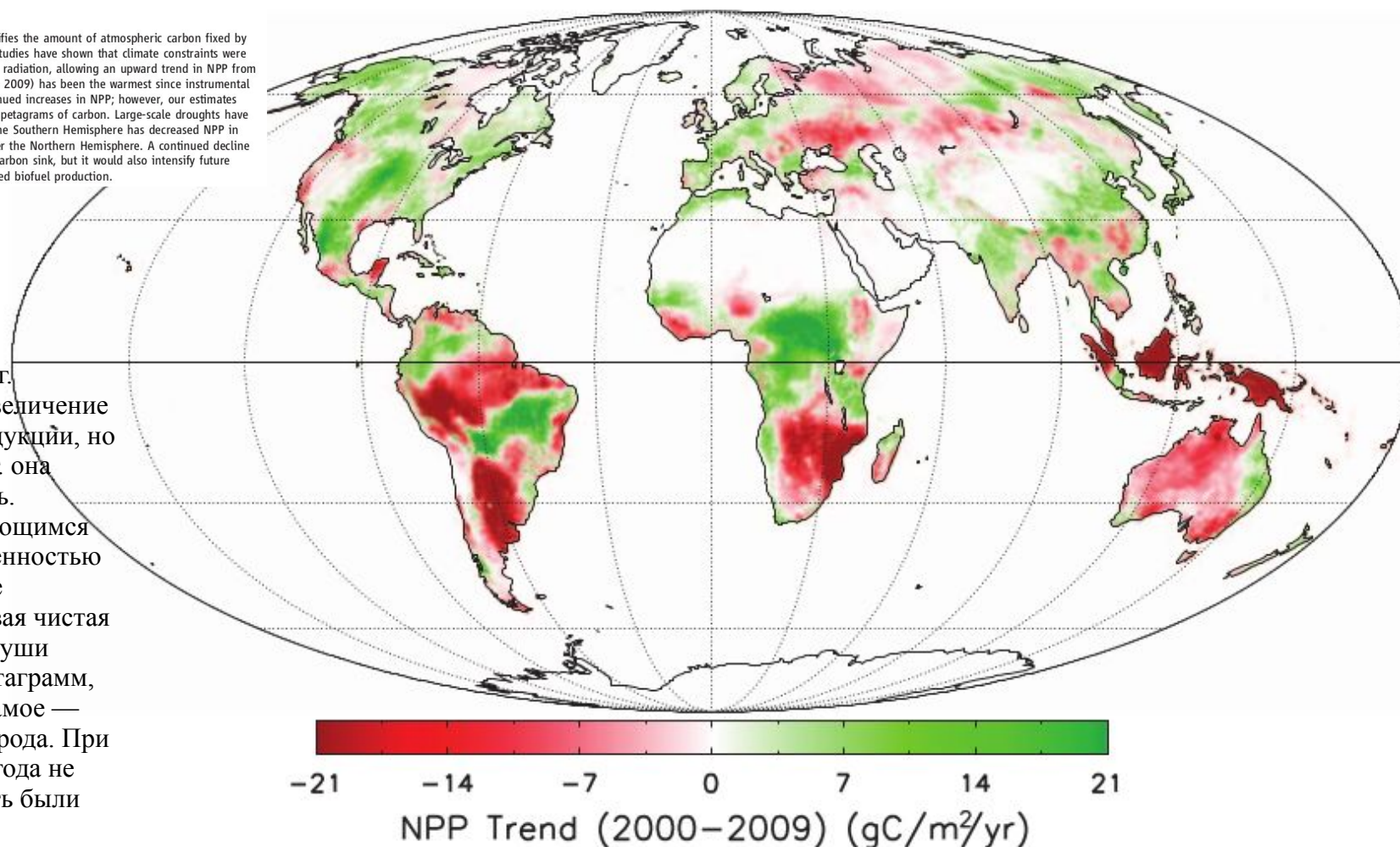
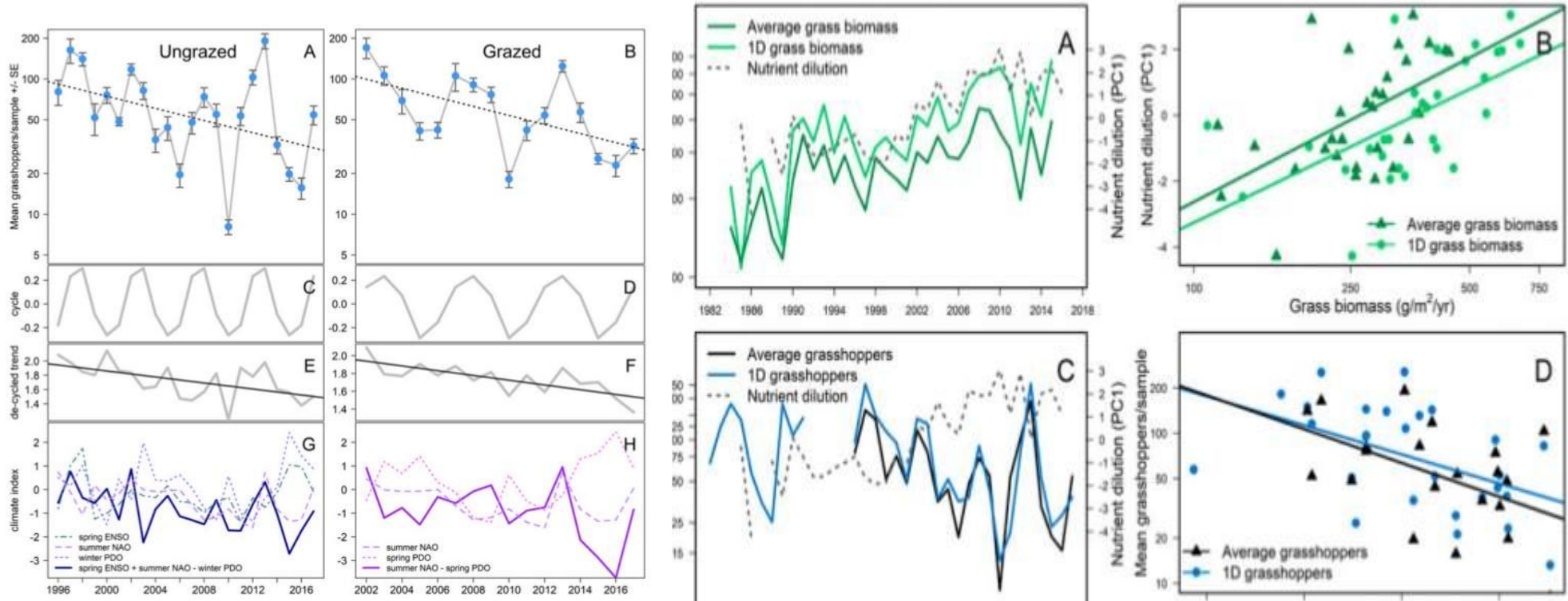
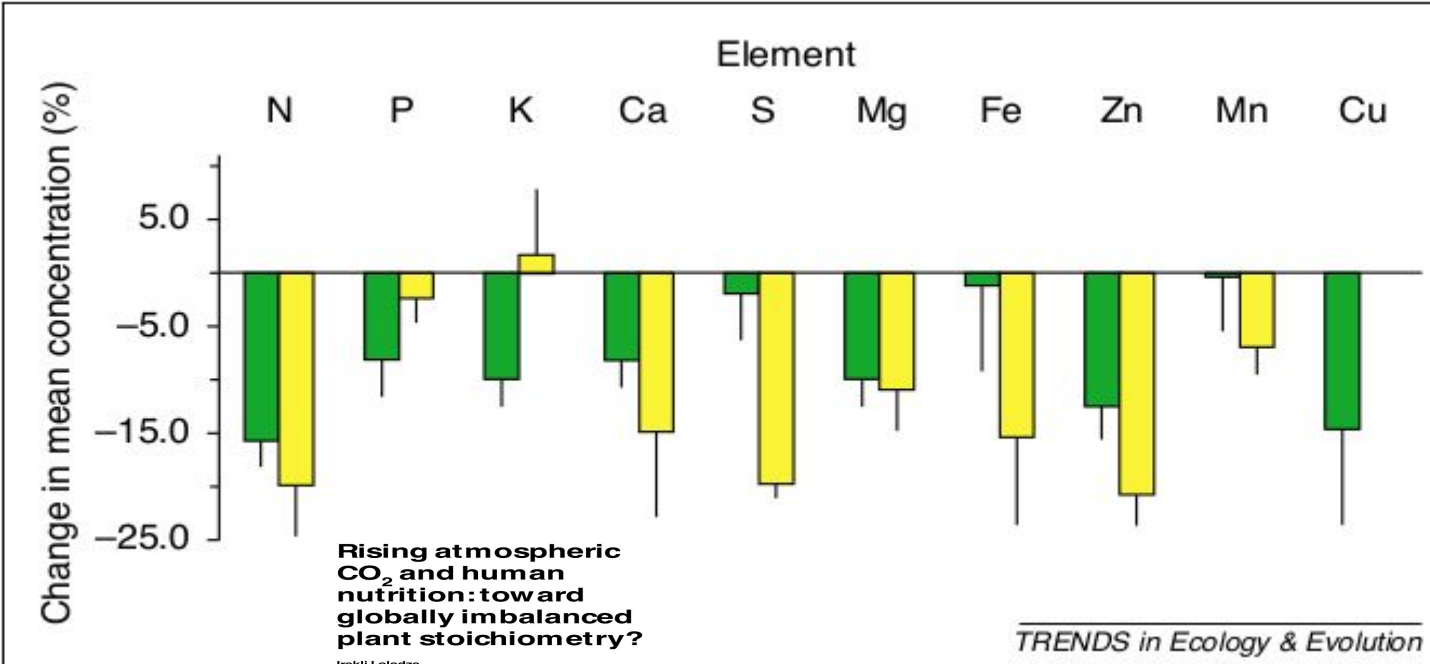


Fig. 2. Spatial pattern of terrestrial NPP linear trends from 2000 through 2009 (SOM text S1) (8, 10).

Дополнительная фитомасса, когда появляется, то менее питательна для фитофагов — как с кобылками канзасских прерий и нашими с/х культурами

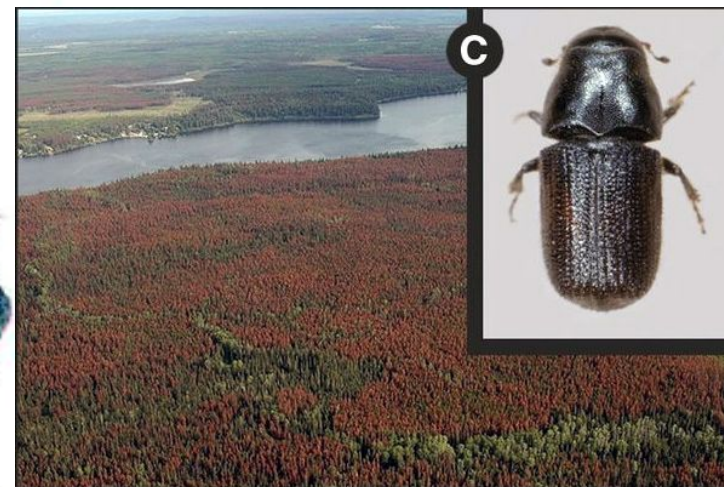
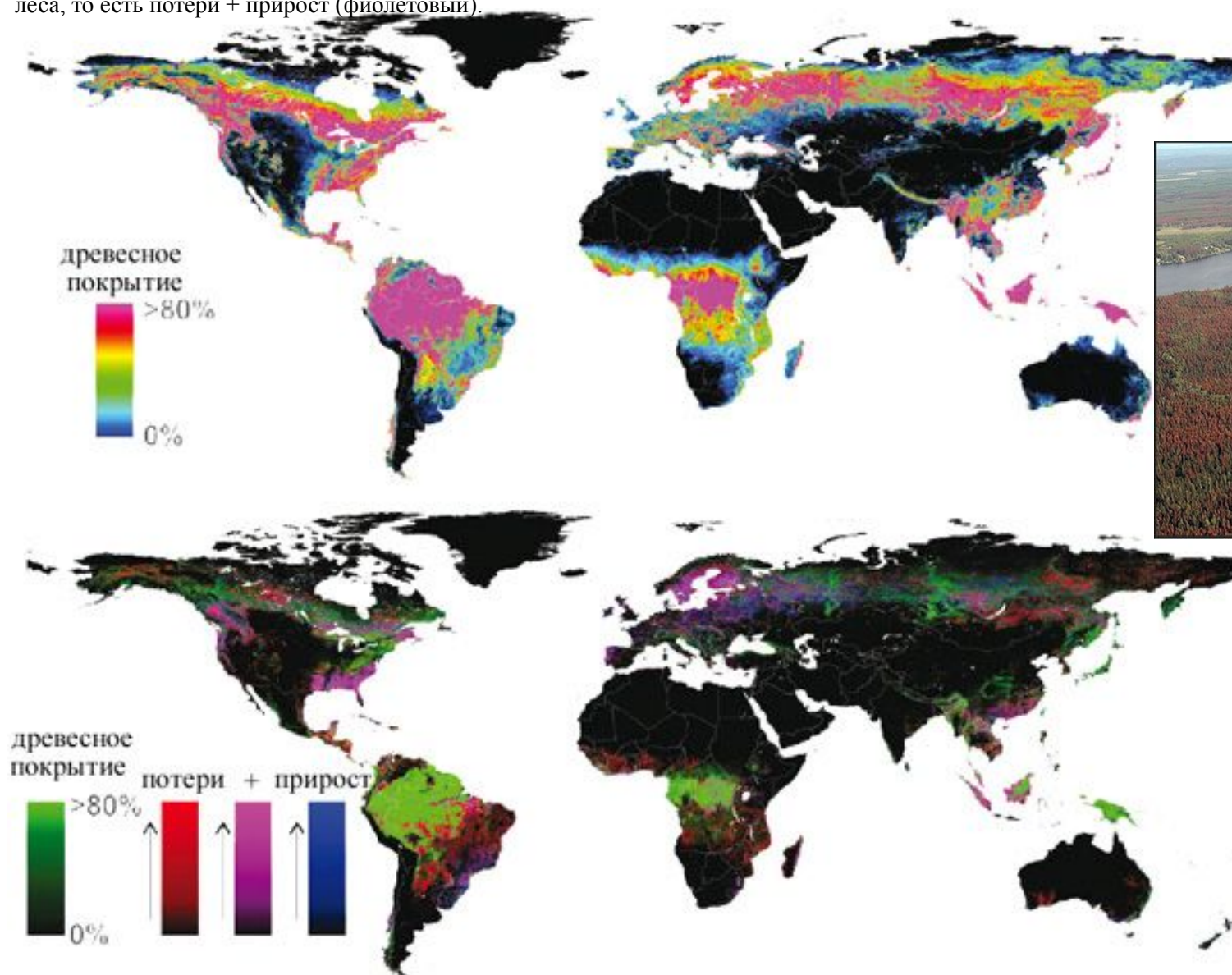


A. Увеличение биомассы трав, в среднем и 10 основных видов, на фоне потери питательной ценности. B. Потеря питательной ценности зелёной массы с ростом продуктивности прерий (г/кв.м/год), средней и 10 основных трав. C. Динамика численности кобылок, в среднем, и 10 основных видов, на фоне падения питательной ценности трав (когда второе возрастает, первое падает). D. Обилие кобылок, в среднем и 10 основных видов, падает пропорционально снижению пищевой ценности трав



Леса местами растут, но куда больше «съедаются» от веера факторов нарушений, потенцируемых потеплением и действующих в «пакете» с ним

На верхней карте показано расположение глобальных лесных массивов в различных климатических зонах — тропической, субтропической, умеренной и субарктической (бореальной). На нижней карте кроме лесных массивов (зеленый цвет) отображены потери за 12 лет (красный цвет), прирост (синий) и оборот леса, то есть потери + прирост (фиолетовый).



Здесь важны гибель лесов от пожаров, незаконных рубок, вспышек массового размножения филло- и ксилофагов... на фоне общего сокращения в развитых странах численности их регуляторов — певчих птиц и насекомых-энтомофагов (т. е. именно там, где лесовосстановление всего больше преобладает над рубками и

СОВРЕМЕННОЕ СОКРАЩЕНИЕ СТОКА УГЛЕРОДА
В ЛЕСА РОССИИ

© 2017 г. Д. Г. Замолодчиков^{1,2,*}, В. И. Грабовский², П. П. Шуляк², О. В. Честных¹

Представлено академиком РАН А.К. Исаевым 29.05.2017 г.

Поступило 31.05.2017 г.

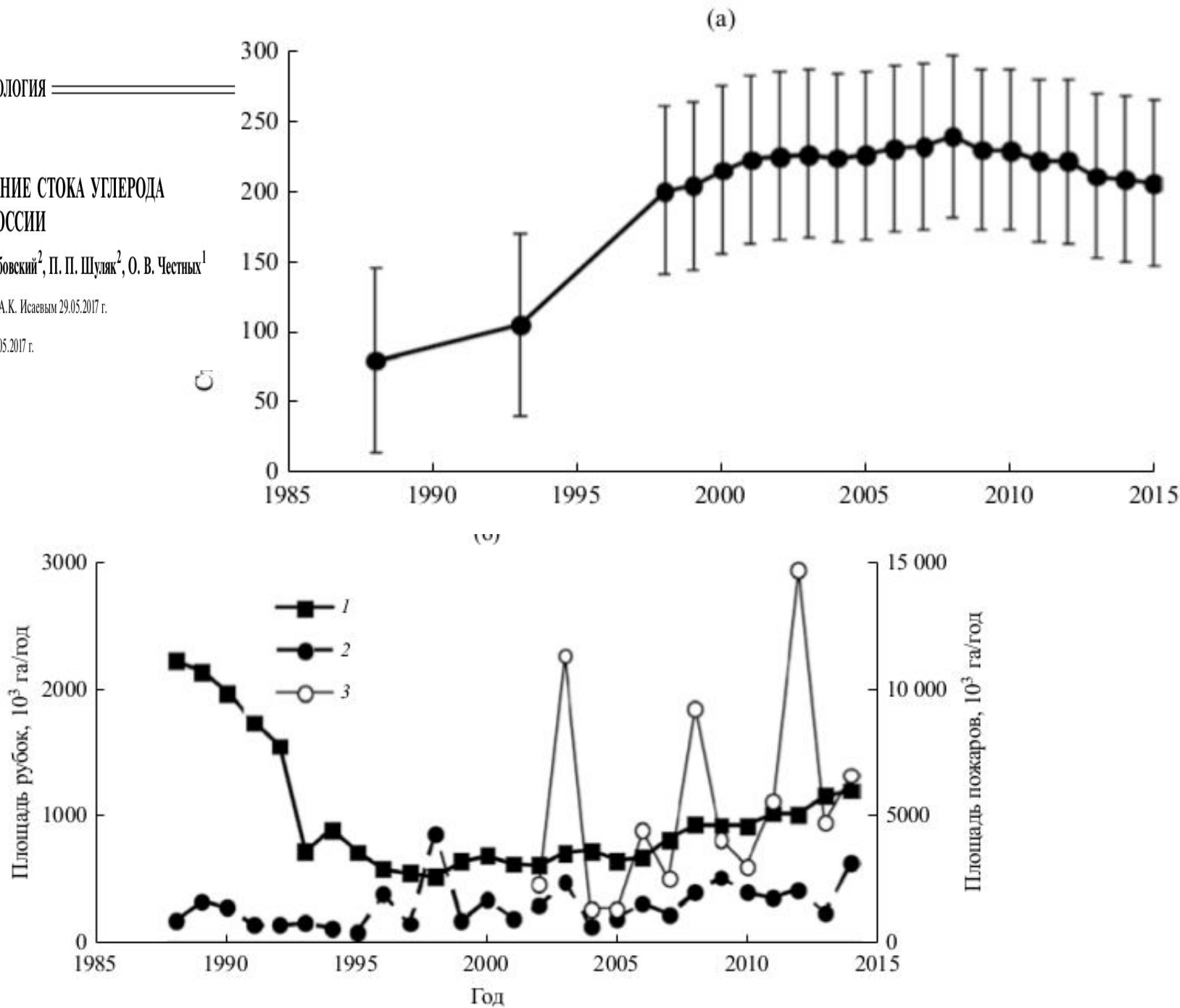
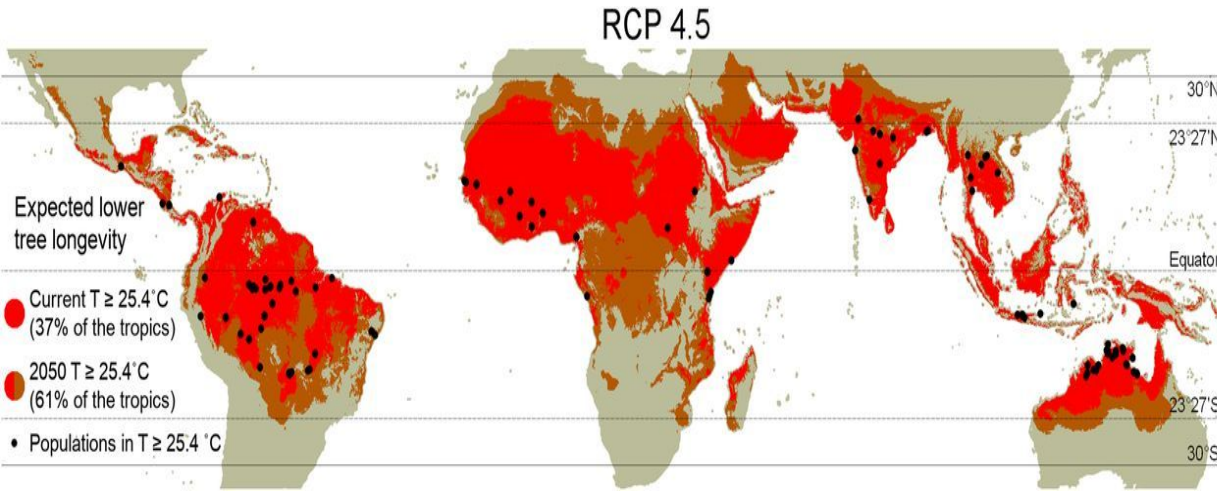
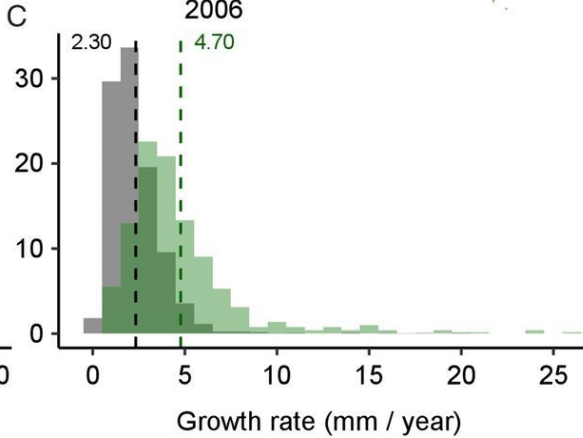
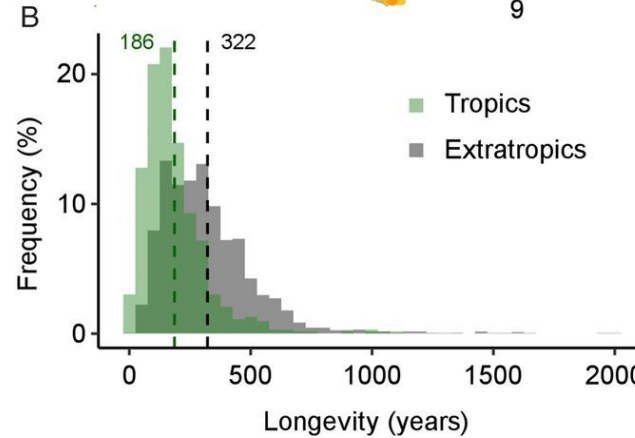
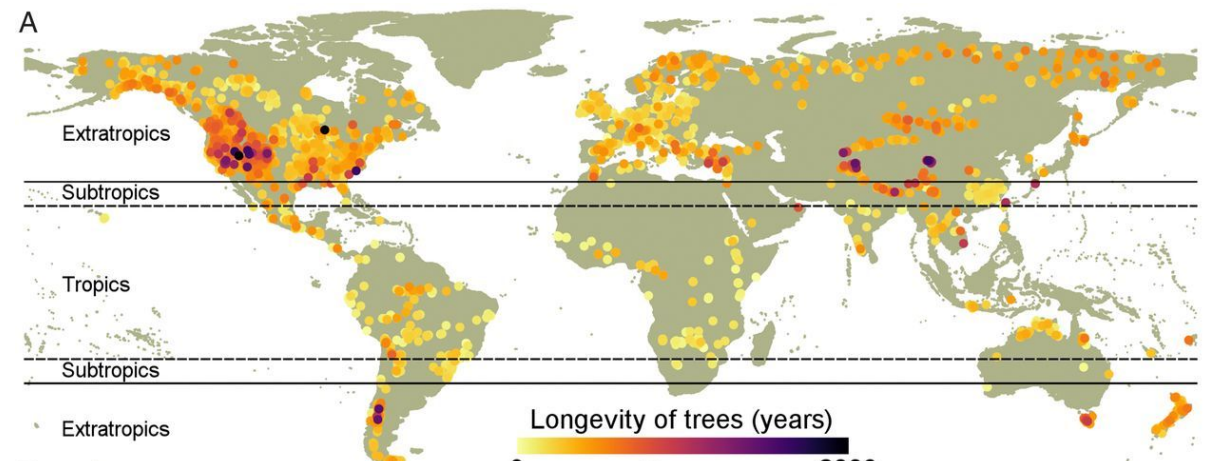
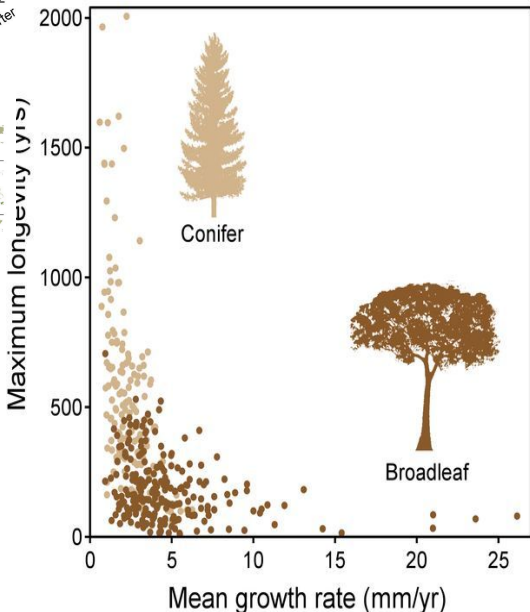
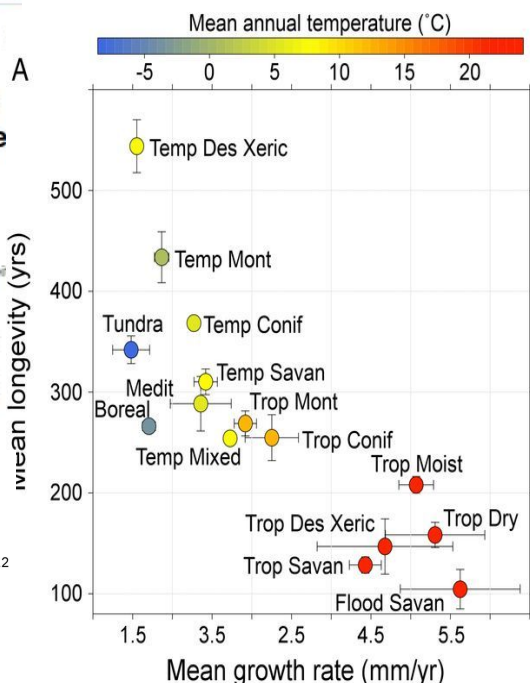
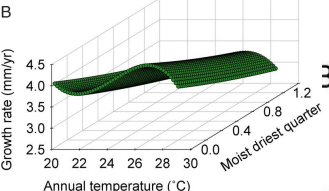
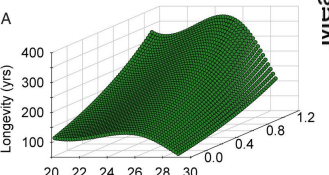


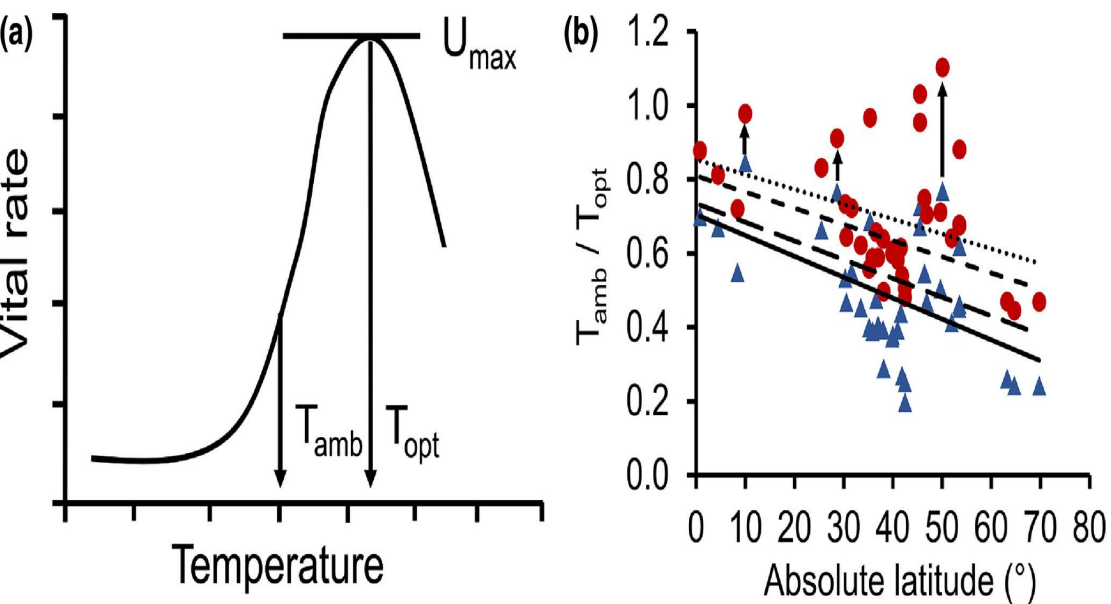
Рис. 1. Динамика стока углерода (а) и ключевых нарушений в лесах России (б). 1 – площади сплошных рубок, 2 – площади лесных пожаров согласно официальной статистике, 3 – площади лесных пожаров согласно спутниковой оценке.

Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity with temperature

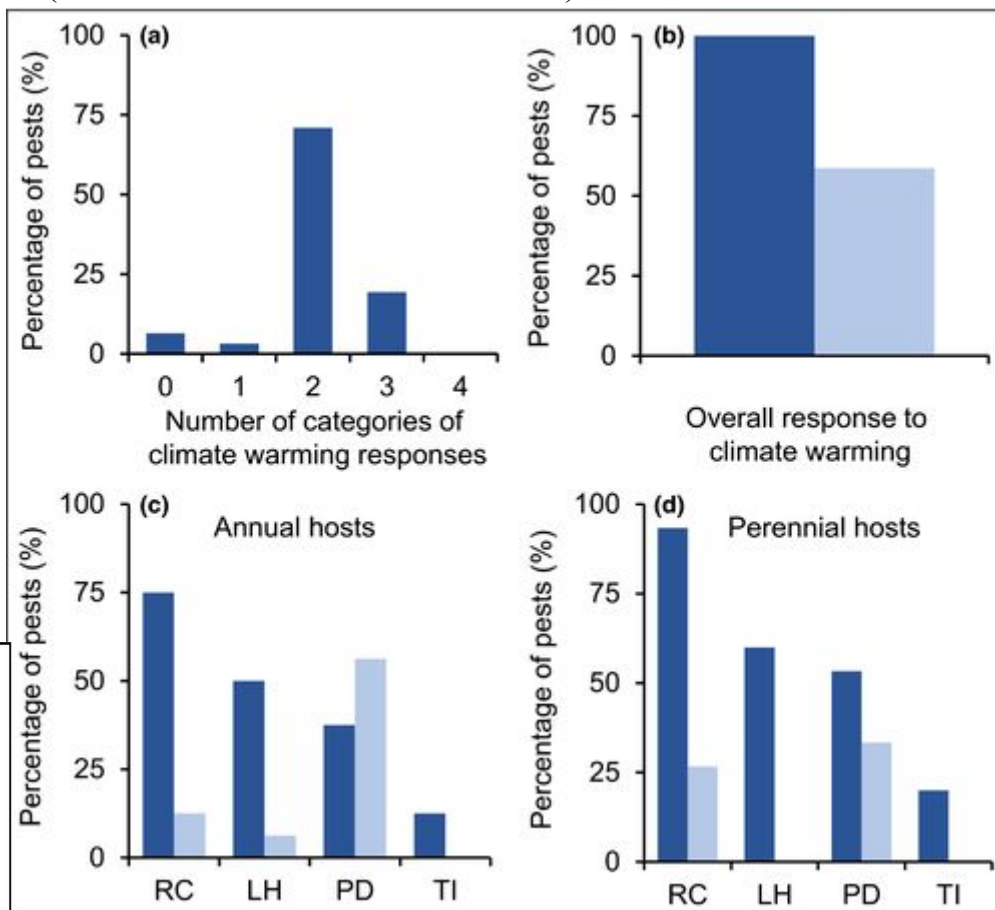
Giuliano Maselli Locosselli, Roel J. W. Brien, Melina de Souza Le, Manuel Gloor, Stefan Krotenthaler, Alexandre A. de Oliveira, Jonathan Barichivich, Dieter Anhu, Gregorio Ceccantini, Jochen Schöngart, and Marcos Buckeridge
PNAS December 29, 2020 117 (52) 33358-33364; first published December 14, 2020; <https://doi.org/10.1073/pnas.2003873117>



Это верно и для 31 вида - «вредителя» с/х (метаанализ 105 исследований)



а — уровень благополучия насекомых в зависимости от температуры, где T_{amb} — нынешняя температура воздуха, T_{opt} — оптимальная для развития температуры; б — отношение текущей температуры к оптимальной показано относительно географической широты. В анализ включены четыре временных периода: исторический (синие треугольники и сплошная линия), настоящее время (толстая пунктирная линия), ближайшее будущее (тонкая пунктирная линия) и будущее (красные круги и точечная пунктирная линия).



Отклики насекомых на изменение климата, по оси ординат — процент вредителей. Синий цвет — положительный ответ, голубой цвет — отрицательный. а — число параметров, по которым уже наблюдается реакция на потепление (у 70% вредителей такая реакция отмечена по двум параметрам), б — усредненный глобальный ответ вредителей на потепление; с — отклик в течение года по ключевым параметрам (RC — колонизация, LH — продолжительность жизни, PD — популяционная динамика, TI — трофические связи); д — многолетний отклик по тем же параметрам.

THE ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA
**Frontiers in Ecology
and the Environment**

Reviews | Open Access | CC BY

Complex responses of global insect pests to climate warming

Philipp Lehmann, Tea Ammūnēt, Madeleine Barton, Andrea Battisti, Sanford D Eigenbrode, Jane Uhd Jepsen, Gregor Kalinkat, Seppo Neuvonen, Pekka Niemelä ... See all authors

First published: 03 February 2020 | <https://doi.org/10.1002/fee.2160> | Citations: 23

Одновременно во всех староосвоенных регионах снижается численность обычных ВИДОВ ПТИЦ...

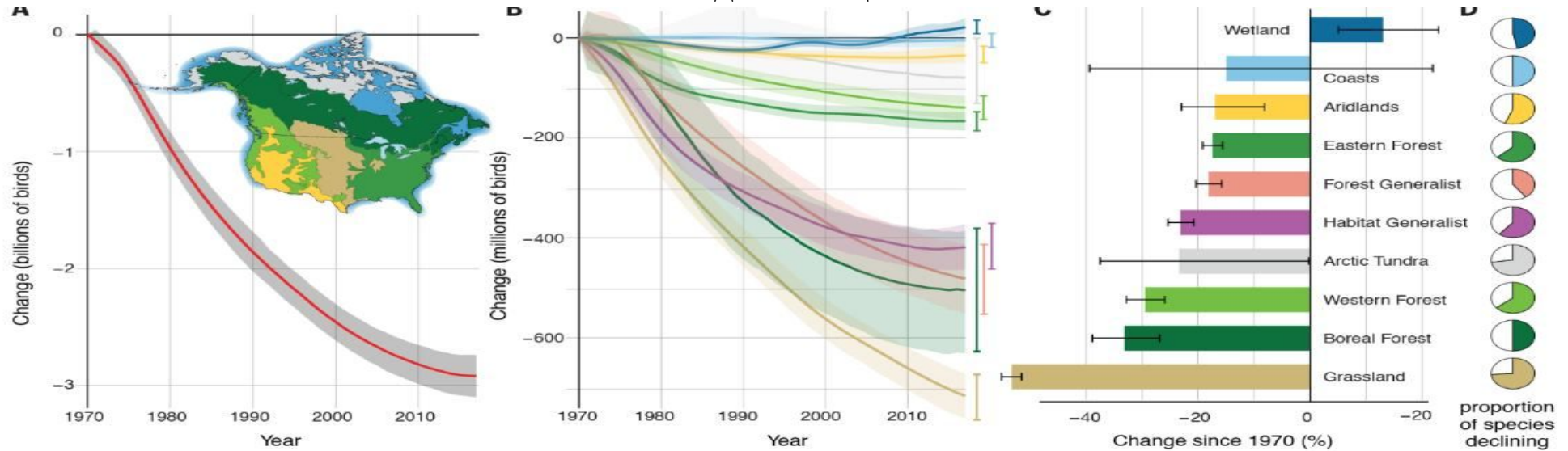


Fig. 1. Net population change in North American birds. (A) By integrating population size estimates and trajectories for 529 species (18), we show a net loss of 2.9 billion breeding birds across the continental avifauna since 1970. Gray shading represents $\pm 95\%$ credible intervals around total estimated loss. Map shows color-coded breeding biomes based on Bird Conservation Regions and land cover classification (18). (B) Net loss of abundance occurred across all major breeding biomes except wetlands (see Table 1). (C) Proportional net population change relative to 1970, $\pm 95\%$ C.I. (D) Proportion of species declining in each biome.

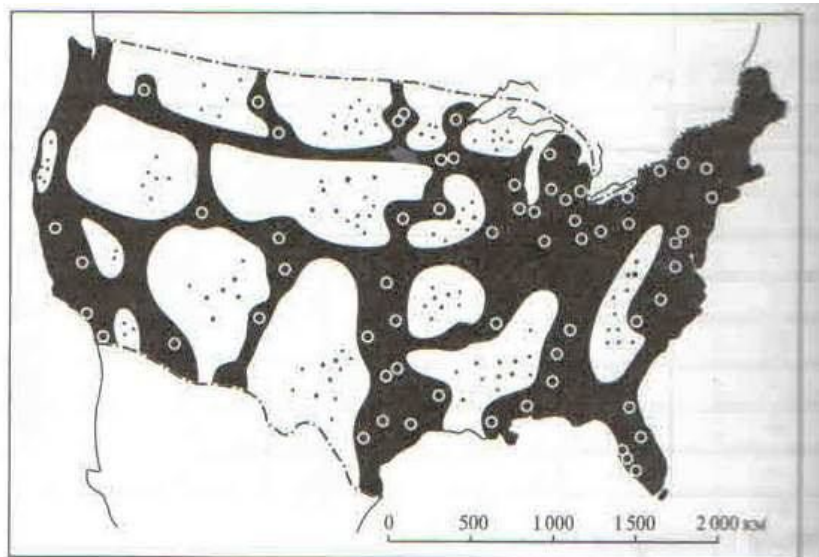


Рис. 1.3. Метрополитенские ареалы в США (прогноз был сделан из...

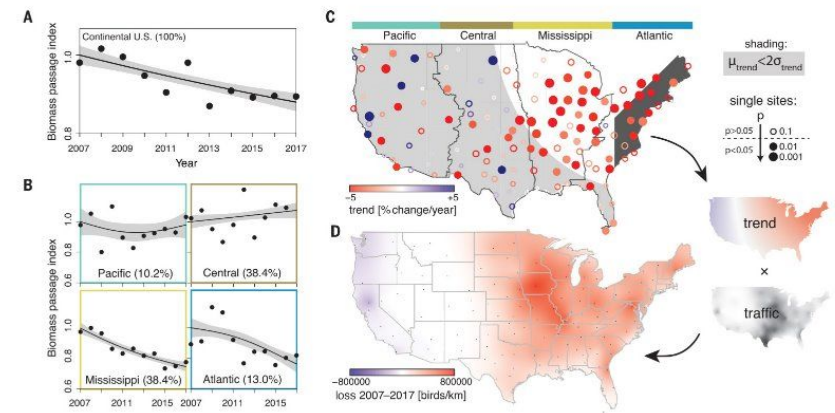


Fig. 2. NEXRAD radar monitoring of nocturnal bird migration across the contiguous U.S. (A) Annual change in biomass passage for the full continental U.S. (black) and (B) the Pacific (green), Central (brown), Mississippi (yellow), and Atlantic (blue) flyways (borders indicated in panel C), with percentage of total biomass passage (migration traffic) for each flyway indicated; Declines are significant only for the full U.S. and the Mississippi and Atlantic flyways (tables S3 to S5). (C) Single-site trends in seasonal biomass passage at 143 NEXRAD stations in spring (1 Mar – 1 Jul), estimated for the period 2007–2017. Darker red colors indicate higher declines and loss of biomass passage, while blue colors indicate biomass increase. Circle size indicates trend significance, with closed circles being significant at a 95% confidence level. Only areas outside gray shading have a spatially consistent trend signal separated from background variability. (D) 10-year cumulative loss in biomass passage, estimated as the product of a spatially-explicit (generalized additive model) trend, times the surface of average cumulative spring biomass passage.

Отчего продуктивность наземных экосистем во многих местах падала даже в 1980-2000-х гг., когда общая фитомасса и усвоение углерода росли (Bai et al., 2008)

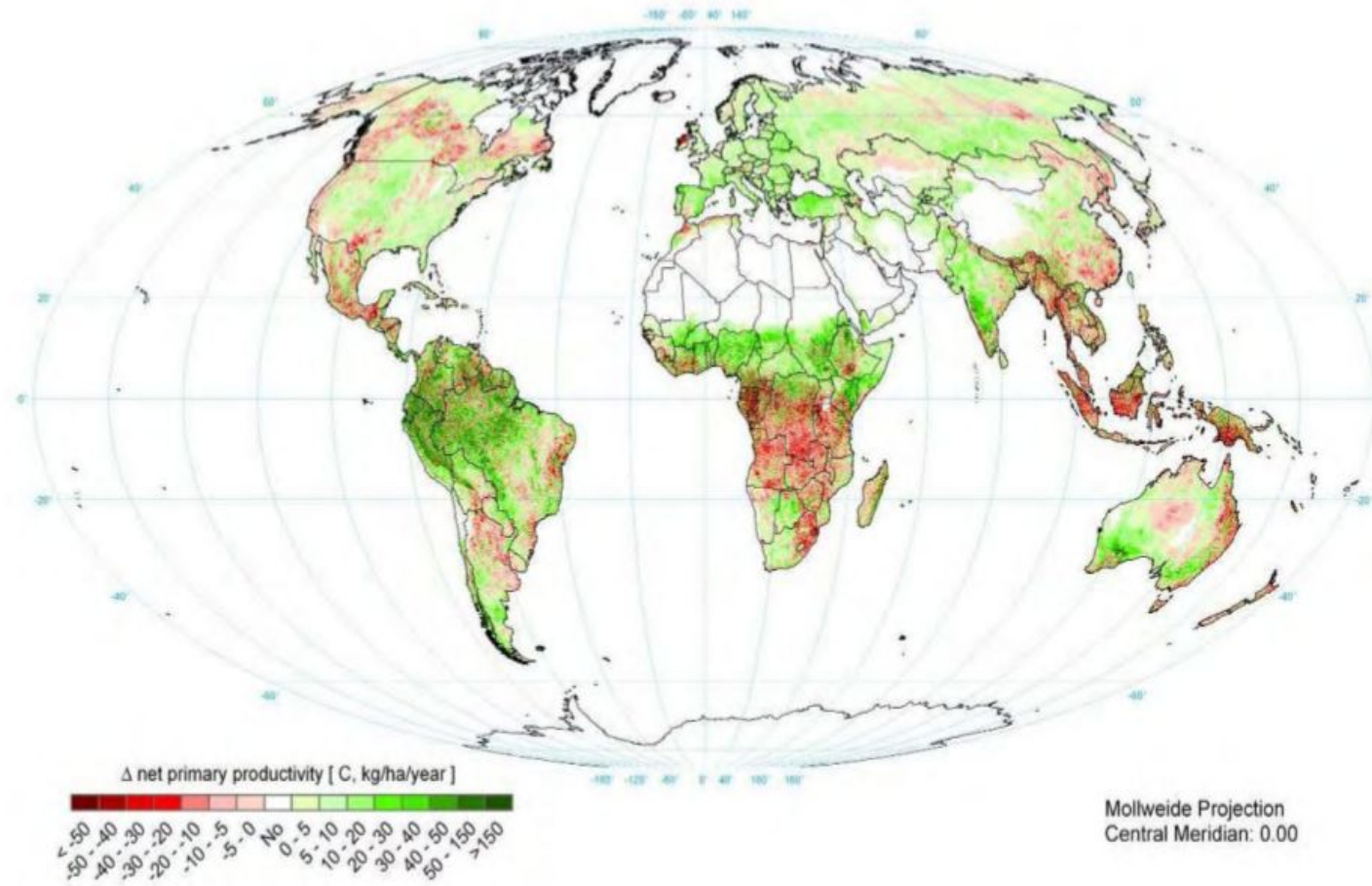


Figure 2. Global change in net primary productivity, 1981-2003

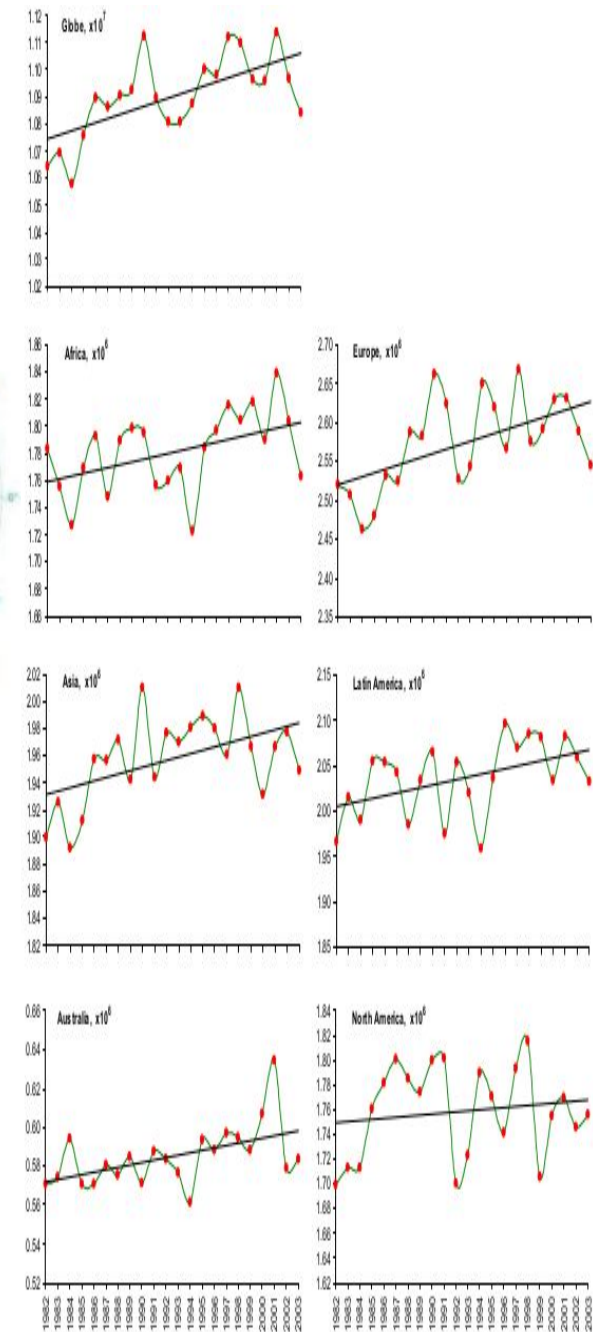


Figure 1. Spatially aggregated annual sum NDVI 1981-2003, $p < 0.01$

Global assessment of land degradation and improvement: 1. Identification by remote sensing

Article (PDF Available) · January 2008 with 626 Reads
DOI: 10.5167/uzh-76769
[Cite this publication](#)

Z.G. Bai
David Dent
#131.27 · Tropical Agriculture Association

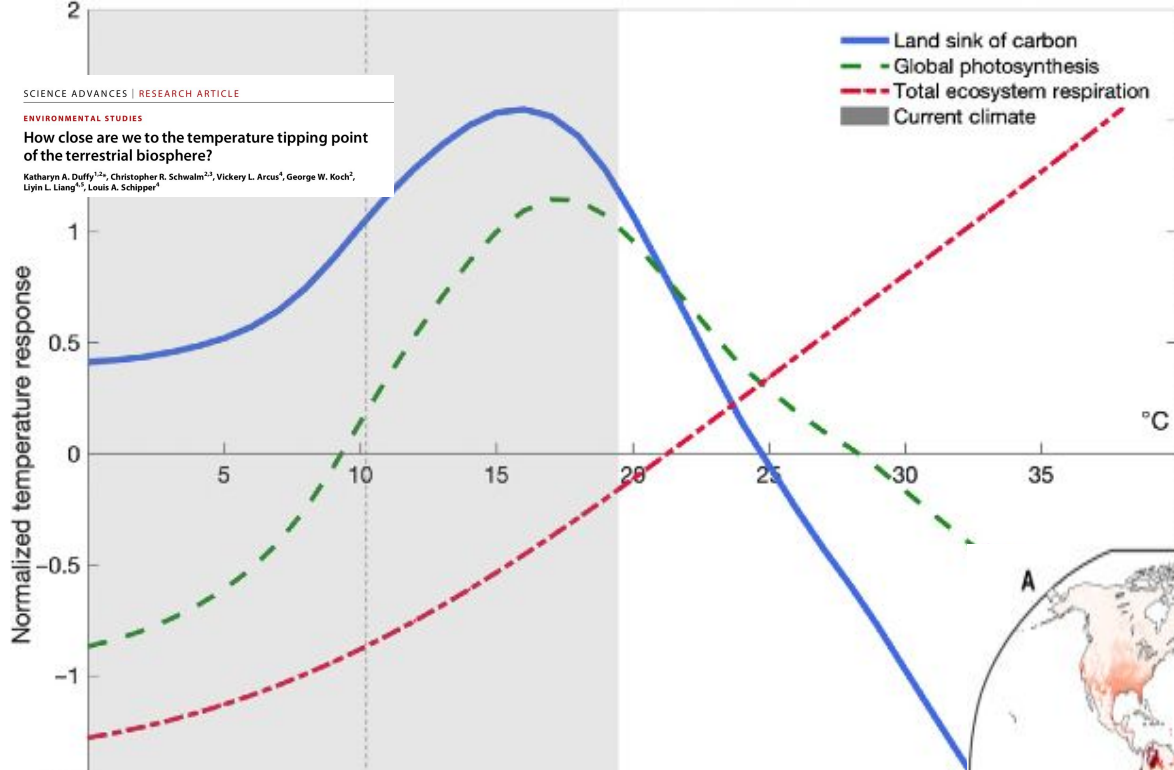
Lennart Olsson
#133.2 · Lund University
M.E. Schaepman
#133.35 · University of Zurich

SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

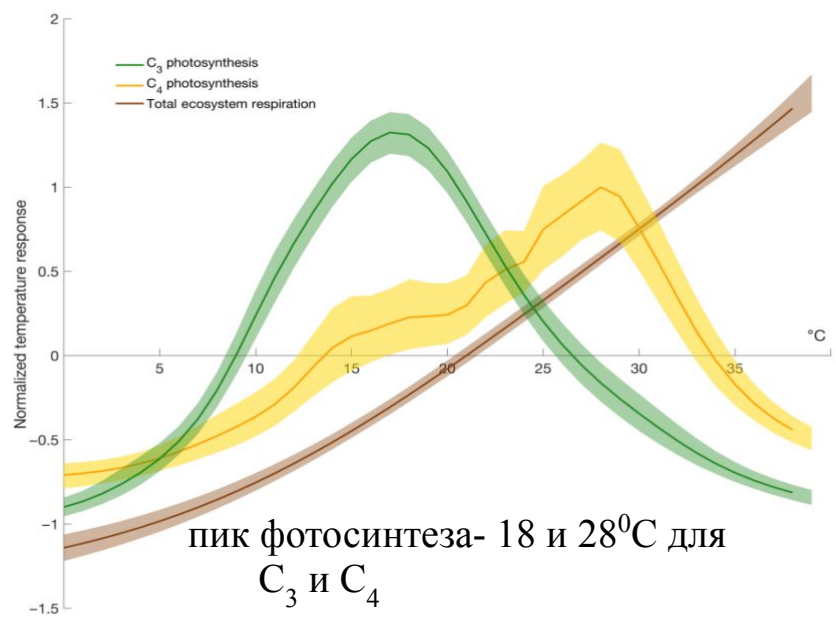
ENVIRONMENTAL STUDIES

How close are we to the temperature tipping point of the terrestrial biosphere?

Katharyn A. Duffy^{1,2*}, Christopher R. Schwalm^{3,4}, Vickery L. Arcus⁵, George W. Koch⁶, Lynn L. Liang^{7,8}, Louis A. Schipper⁹

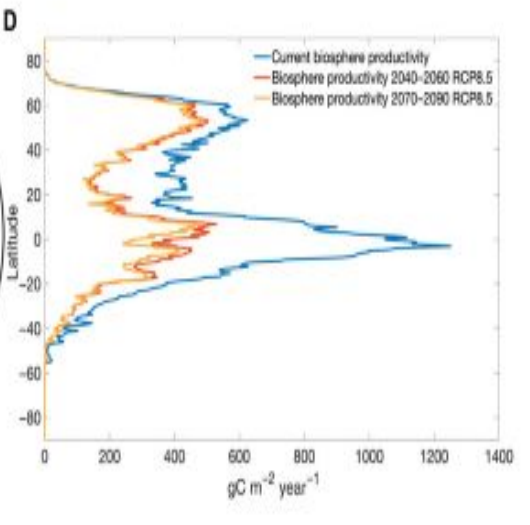
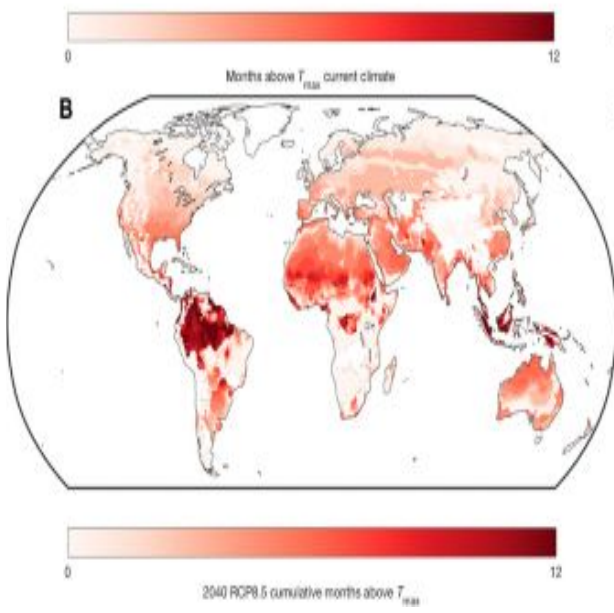
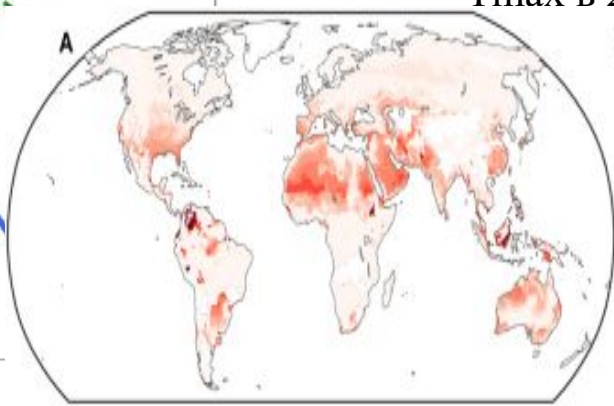


Интегрированные кривые отклика фотосинтеза (зеленая пунктирная линия), дыхания (красная пунктирная линия) и оценки баланса массы суши (синяя сплошная линия) на глобальную температуру, нормализованные по отношению к текущему климату (серая 1991-2015 годы).



пик фотосинтеза- 18 и 28°C для C₃ и C₄

А) Текущая совокупная месячная доза температуры выше T_{max}P в биомах суши. (В) Кумулятивная доза температуры выше T_{max}P согласно сценарию RCP8.5 к 2040–2060 годам. (С) Кумулятивная доля биомов суши, превышающая T_{max}P. (D) Текущее среднее значение валового фотосинтеза с привязкой к сетке (2003–2013) наряду со снижением продуктивности биосферы из-за превышения T_{max} в 2040–2060 годах.



Именно нагревание, не увеличение концентрации CO₂ превращает болота из стока углерода

В ИСТОЧНИК

Измеренный углеродный обмен на болоте с 2016 по 2018 году.

Горизонтальная линия в верхней части графика означает переход от аккумуляции углерода к его эмиссии. Серые точки внутри фигур означают эксперименты с повышением концентрации углекислого газа на фоне уже увеличившейся температуры. Пустой черный кружок - результат по контрольному участку, который не подвергался искусственному изменению микроклимата.

Paul J. Hanson et al. / AGU Advances, 2020.

