

Списки содержания доступны на [сайте ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Наука об окружающей среде

Домашняя страница журнала: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Короткое сообщение



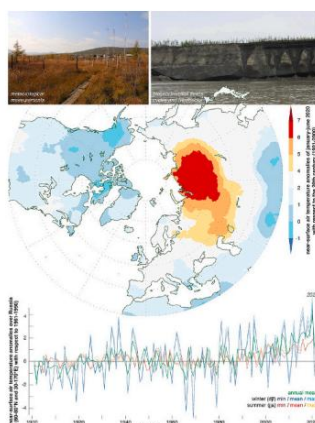
Исследования глобальных изменений требуют международного сотрудничества

Ульф Бюнтген^{а,б,в,г,*}, Гарет Риз^{а,е,е}^а Географический факультет Кембриджского университета, Кембридж CB2 3EN, Великобритания^б Институт исследований глобальных изменений Чешской академии наук (CzechGlobe), 603 00 Брно, Чешская Республика^с Швейцарский федеральный научно-исследовательский институт (WSL), 8903 Бирменсдорф, Швейцария^г Кафедра географии, факультет естественных наук, Университет имени Масарика, 613 00 Брно, Чешская Республика^е Институт полярных исследований Скотта, Кембриджский университет, Кембридж CB2 3EN, Великобритания^ф Кафедра технологий и безопасности, УИТ, Арктический университет Норвегии, 9019 Тромсё, Норвегия

ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ

- Грандиозные проблемы глобального изменения климата требуют международного сотрудничества.
- Политические ограничения открытой науки наносят вред долгосрочным академическим сетям.
- Географическое единство и интеллектуальный потенциал России нельзя игнорировать. • Академические связи и научное сотрудничество трудны должны преодолеть геополитические кризисы.
- Научные санкции влияют на международную исследовательскую инфраструктуру и знания.

ГРАФИЧЕСКИЙ АБСТРАКТ



ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Редактор: Мартин Дрюс

Ключевые слова:

Арктический совет

Бореальный лес

Изменение климата

Дипломатическая мягкая сила

Глобальные кризисы

Открытая наука

АБСТРАКТНЫЙ

Для решения масштабных проблем глобального изменения климата в целях обеспечения устойчивости экологических и общественных систем требуются данные и экспертные знания из России, крупнейшей страны мира, которая имеет самую длинную арктическую береговую линию и крупнейшие лесные биомы, торфяники и зоны вечной мерзлоты. Академические связи и научное сотрудничество с российскими учеными и институтами должны продолжаться, несмотря на геополитический кризис, начавшийся в 2022 году.

* Автор-корреспондент: Географический факультет Кембриджского университета, Кембридж CB2 3EN, Великобритания.

Адрес электронной почты: ulf.buentgen@geog.cam.ac.uk (У. Бюнтген).

1. Разрушение научных сетей

Невозможно понять, спрогнозировать или смягчить грандиозные проблемы глобального изменения климата, игнорируя географическую сущность и интеллектуальный потенциал крупнейшей страны мира. Однако международные сети связи с учеными из России недавно начали разрушаться (Риз и др., 2023). Хотя геополитически оправданные как часть ответа на военное вторжение России в Украину, ограничения, обусловленные политикой, на открытую науку вызывают академическую тревогу, поскольку исследования устойчивости в текущих экологических и социальных переплетениях антропогенного изменения климата требуют быстрых действий внутри и между всеми странами и НПО. Несмотря на свою геополитическую значимость, текущие санкции влияют на одноранговые и институциональные взаимодействия и еще больше ухудшают российскую, а в конечном итоге и международную исследовательскую инфраструктуру и знания.

Здесь мы выступаем за непрерывность экологических и метеорологических наблюдений и экспериментов, особенно, но не исключительно, в высоких северных широтах России. Мы утверждаем, что биосфера и климатическая система Земли не могут быть поняты и защищены без данных из наземной (и морской) Арктики и субарктики, более половины которых находится на территории России. Поэтому мы подчеркиваем важность непрерывных, натуральных, высокоразрешающих исследований продуктивности и функционирования бореальных лесов для понимания причин и последствий глобального потепления с целью обеспечения благополучия нынешнего и будущих поколений.

2. Международные исследовательские задачи

Россия, площадь которой составляет около 812 × 106 га, занимает около 22 % всей лесной площади на нашей планете, содержит крупнейшие в мире торфяники, пересекается с крупнейшей зоной вечной мерзлоты и включает в себя самый широкий переход тайга-тундра. Хотя множество медленно растущих и очень старых деревьев в Сибири вносят свой вклад в основной наземный пул углерода в мире (Büntgen et al., 2019), неясно, перейдет ли бореальный лес из поглотителя углерода в чистый источник (Kruse et al., 2022) из-за сохраняющихся неопределенностей относительно таяния вечной мерзлоты, вызванного потеплением, и взаимодействия растительности и вечной мерзлоты. Возможность получения точных спутниковых оценок надземного хранения углерода в бореальных локациях ставится под угрозу нехваткой полевых калибровочных участков, которые особенно редки в России (Schepaschenko et al., 2021).

Кроме того, антропогенно-индуцированные и опосредованные травоядными нарушения краткосрочных и долгосрочных связей между климатом и растительностью, по крайней мере, возможно, сильнее в России, чем в других местах Арктики (МГЭИК, 2022). Современные модели системы Земли предполагают, что активный слой вечной мерзлоты станет тоньше по всей наземной части Арктики, где лесные пожары, вероятно, станут более частыми в условиях глобального потепления (МГЭИК, 2022). Модели также предсказывают, что самая большая потеря вечной мерзлоты в 21 веке произойдет на северо-западе России (Карьялайнен и др., 2019). Помимо беспрецедентных выбросов парниковых газов (Knoblauch et al., 2018), таяние вечной мерзлоты также высвобождает субфоссильную древесину, останки мамонтовой фауны и, возможно, даже древние патогены, о чем свидетельствует вспышка сибирской язвы в 2016 году на полуострове Ямал на северо-западе России (Hueffer et al., 2020). Все эти тревожные вопросы подчеркивают срочность постоянного сбора данных in situ и постоянного доступа к ранее полученным наборам данных. Риски для полноты и целостности информации возникают как из-за ограниченного доступа к существующим записям, так и из-за ограниченной перспективы поддержания сотрудничества и разработки новых, что подрывает дух устойчивости.

Например, ежегодно разрешенные и абсолютно датированные реконструкции летней температурной изменчивости Северного полушария в значительной степени зависят от хронологий колец деревьев из России (Бюнтген и др., 2020, 2021). Долгосрочные и опытные лаборатории в Красноярске, Екатеринбурге, Москве, Абакане и Иркутске создали некоторые из самых длинных и лучше всего реплицируемых дендрохронологических наборов данных в мире. Эти лаборатории также хранят уникальные прокси-архивы для передовых биохимических

анализы, которые могут быть выполнены только в рамках более крупных исследовательских проектов. Возобновление научного сотрудничества мотивируется еще 450–500 еще не свободно доступными хронологиями колец деревьев, которые остаются недостаточно изученными. Также есть около 70 000 участков инвентаризации лесов, 18 башен потока «Eddy Covariance», которые измеряют потоки углерода, воды и энергии между биосферой и атмосферой (www.fluxnet.org), и 15 «углеродных суперсайтов» от Министерства образования и науки России, которые измеряют обмены и бюджеты CO₂ (www.carbon-polygons.ru). Ожидаемый запуск четырех новых флюсовых башен и семи новых углеродных суперсайтов, вероятно, будет затронут текущими санкциями, и существует серьезный риск потери доступа к бесценным измерениям

почти 500 официальных метеорологических станций, которые работали непрерывно, по крайней мере, с момента распада Советского Союза (www.meteo.ru).

Из-за значительного потепления с 1990-х годов, в сочетании с возникновением экстремальных волн тепла (рис. 1–2), бореальная растительность, вероятно, будет расширяться дальше в зону тундры (Rees et al., 2020). Эта циркумполярная тенденция подчеркивает актуальность постоянных исследований сложной взаимосвязи между климатом и растительностью. Пространственно-временная количественная оценка арктического «позеленения» и/или «побурения» требует измерений с помощью дистанционного зондирования и наземной проверки оценок фитомассы (Callaghan et al., 2021; Schepaschenko et al., 2021). Также необходимы полевые наблюдения in situ, чтобы разделить роль естественных (например, вулканы и лесные пожары) и антропогенных (например, горнодобывающая, нефтяная и судоходная отрасли) факторов, влияющих на тенденции потепления в Арктике и динамику углеродного цикла (Кирдянов и др., 2020; Рантанен и др., 2022).

Скорость изменения климата и растительности в Сибири является весомым аргументом в пользу продолжения совместных исследований с российскими учеными, а также поддержки их сложных долгосрочных сетей мониторинга в обширных биомех тайги и тундры. Климатические экстремальные условия и логистические ограничения во многих отдаленных и часто изолированных частях Сибири, и особенно в российской Арктике, требуют международного партнерства для обеспечения точной и бесперебойной работы высокоточных наземных измерений (Риз и др., 2020). Наряду с разработкой и применением передовых алгоритмов обработки полевые данные имеют важное значение для поддержки спутниковых снимков и расширения понимания процессов за пределы локальных масштабов, хотя они все больше полагаются на международные усилия (Щепаченко и др., 2021). Например, физический и цифровой доступ к исследовательским станциям и данным из российской Арктики до недавнего времени обеспечивался международной сетью INTERACT (www.eu-interact.org). Однако ограничения на использование всех двадцати одной базы в России с марта 2022 года серьезно влияют на интеграцию местного опыта и знаний коренных народов в наше понимание воздействия глобального климата и изменения окружающей среды на функционирование и продуктивность экосистем и благосостояние обществ. Ситуация особенно тревожна, поскольку последнее поколение климатических моделей предсказывает наиболее значительный рост температуры приземного воздуха и связанные с этим изменения в режимах осадков над частями Сибири и российской Арктики (МГЭИК, 2022).

Не только динамика надземной растительности, но и свойства подземной почвы, таяние вечной мерзлоты и деградация торфяников должны быть включены в междисциплинарный (и международный) подход для раскрытия сложного пространственно-временного взаимодействия биотических и абиотических реакций на быстрое потепление (рис. 1–2). Крупнейший в мире торфяник в Западно-Сибирской низменности демонстрирует существенный поглотитель углерода, который, вероятно, хранит до 10 % от количества CO₂ в настоящее время содержащегося в атмосфере (Dise, 2009). Как и многие другие экосистемы в России, торфяники хронически недоизучены (Кирпотин и др., 2021), и обеспечен доступ к таким местам, как углеродный суперсайт Мухрино (www.carbon-polygons.ru) в настоящее время находится под угрозой. За последние несколько десятилетий измерения in situ арктических и субарктических экологических процессов в России стали все более совместными и международными. Обмен опытом и людьми, а также данными и оборудованием, включая химические реагенты и грантовые средства, стали необходимыми для проведения фундаментальных и прикладных исследований. Однако все это изменилось с момента российского вторжения

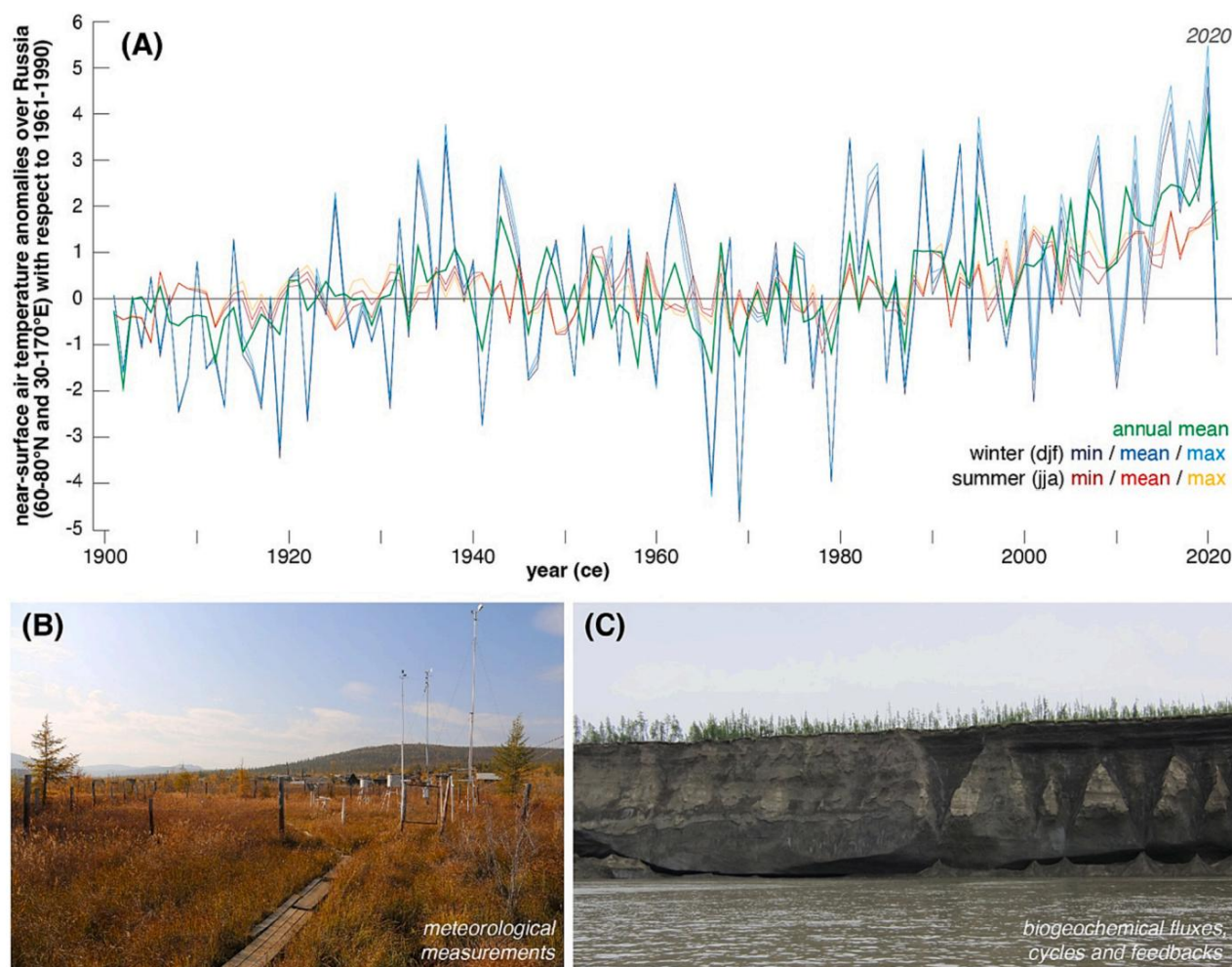


Рис. 1. (А) Аномалии температуры воздуха вблизи поверхности (по отношению к периоду 1961–1990 гг., рассчитанные для годовых, зимних и летних средних, минимальных и максимальных значений по 60–80 с.ш. и 30–170 в.д. российской суши с использованием данных CRU TS 4.06 с сеткой 0,5°) показывают сильную тенденцию к потеплению примерно с 1990-х гг. (В) Метеорологическая станция около Билибино на севере Чукотки, где инструментальные измерения погоды редки. (С) Обнаженные богатые углеродом почвы и плавника в Северный Ледовитый океан. Годовая амплитуда температур на севере Якутии достигает почти 100 °C, где медленно растущие лиственницы (*Larix cajanderi*) могут иметь возраст более 1000 лет, а таяние вечной мерзлоты, вызванное потеплением, влияет на биогеохимические потоки, циклы и обратные связи.

Украина в 2022 году. Последующее ухудшение российской исследовательской инфраструктуры и сокращение участия России в международных рецензируемых исследованиях в конечном итоге также повлияют на международное научное сообщество.

3. Дипломатическая мягкая сила

Хотя научные проекты в России всегда были сложными по политическим, организационным и культурным причинам (Büntgen, 2016), односторонние и более высокоуровневые взаимодействия наиболее важны для непрерывности наблюдений, экспериментов и наборов данных в сфере исследований глобальных изменений. Актуальность поддержания и укрепления международных отношений признается уже несколько десятилетий. Международная научная инициатива в Российской Арктике (ISIRA) была создана для этой цели Международным арктическим научным комитетом (IASC) три десятилетия назад (Pavlenko et al., 2021). Совместные исследования также могут способствовать дипломатической мягкой силе. Например, Норвегия вскоре примет председательство в Арктическом совете от России (Rees et al., 2023). С момента своего создания в 1996 году Арктический совет является ведущим межправительственным форумом, который способствует сотрудничеству, координации и взаимодействию между государствами и народами в целях устойчивого развития и защиты окружающей среды. В настоящее время его деятельность приостановлена (www.state.gov/joint-statement-on-arctic-council-cooperation-following-russias-in

vasion-of-ukraine), как и процесс Арктического совещания министров. Однако, и связанный с некоторой дипломатией, переход председательства в Арктическом совете может стать возможностью для перезагрузки международных отношений и подчеркнуть статус открытой науки во все более неопределенном мире. Поскольку научное сообщество начинает готовиться к 5-му Международному полярному году, который теперь наступит всего через десятилетие, эта перезагрузка становится все более неотложной. Более того, мы призываем к соглашению и заключению международных контрактов для обеспечения научного сотрудничества в решении масштабных проблем глобального изменения климата — в экологически значимых временных рамках нации.

4. Возобновление научного сотрудничества

В то время как национальные и институциональные экономические эмбарго в ответ на вторжение России в Украину оправданы в более широком геополитическом контексте, потребность в научном сотрудничестве сейчас выше, чем когда-либо прежде, и мы не можем позволить этим связям оставаться парализованными в быстро теплеющем и все более нестабильном мире. Понимание и смягчение экологических и социальных последствий антропогенного глобального потепления и его потенциального воздействия на точки невозврата в климатической системе Земли невозможны без включения данных и опыта, а также действий со стороны крупнейшей страны мира. Поэтому мы выступаем за поддержание

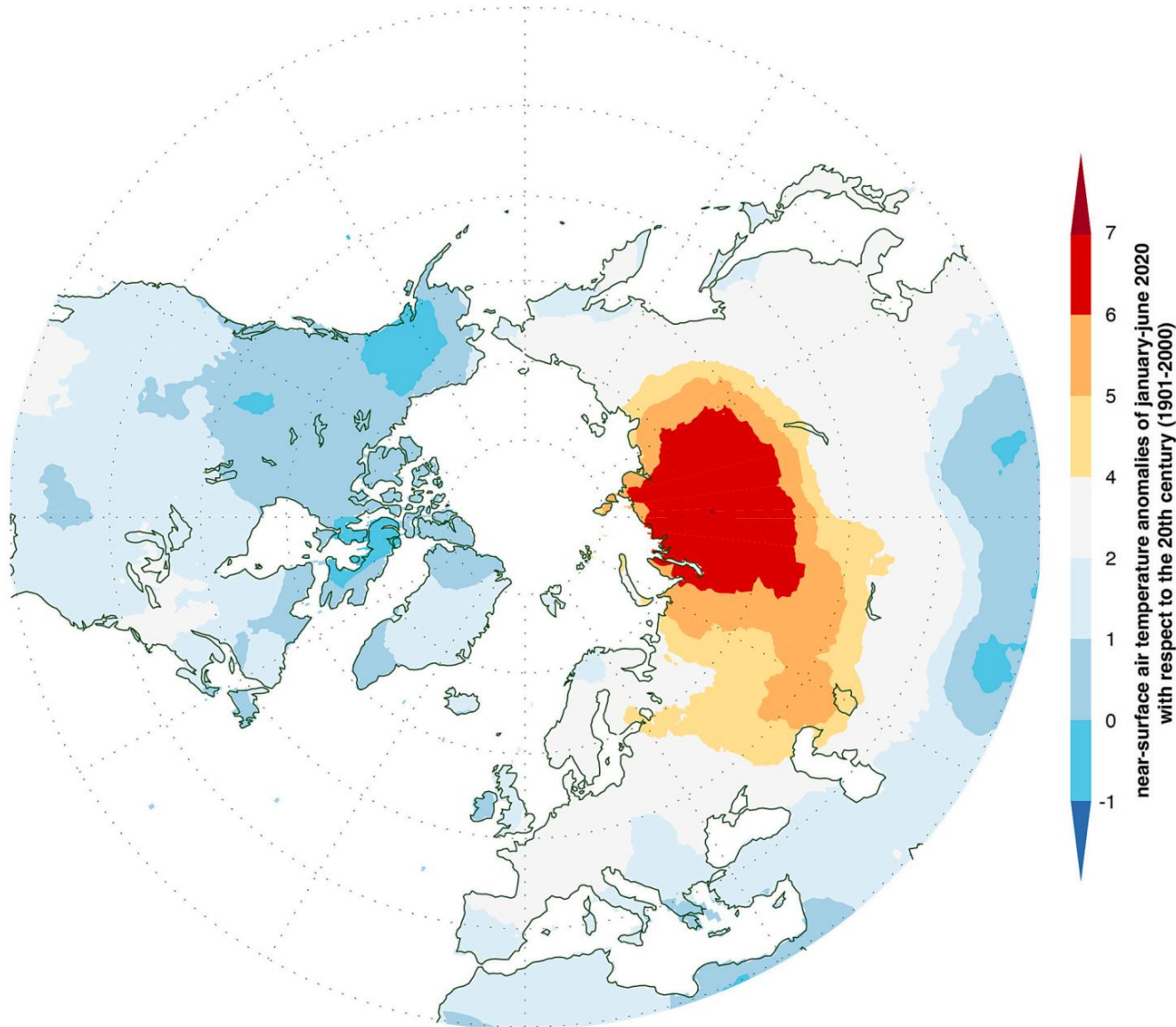


Рис. 2. Аномалии температуры поверхности воздуха в январе–июне 2020 г. (по отношению к XX в. и построенные над внетропической зоной Северного полушария с шагом 0,5)
Приведенные к сетке данные CRU TS 4.06) показывают экстремальную волну тепла 2020 года в Центральной Сибири.

разумный научный дискурс с Россией, несмотря на нынешний политический беспорядок. Хотя это все еще происходит в некоторой степени на личном уровне с сомнениями и двусмысленностью, необходимо оказать давление на международные институты и организации, чтобы возобновить диалог с российскими учеными. Кроме того, мы призываем к открытому отношению и долгосрочному видению финансирующих агентств, чтобы переосмыслить свои текущие ограничения и возобновить поддержку совместных исследований в России для понимания и смягчения причин и последствий глобального потепления. Трагическая ирония заключается в том, что «арктическая исключительность», в рамках которой регион фактически поддерживался как зона мирного сотрудничества по крайней мере последнюю четверть века (Kornhuber et al., 2023), теперь находится под угрозой из-за агрессивного поведения арктического государства-члена. Мы призываем к действиям по защите глобальной науки от этого риска.

Заявление об авторском вкладе CRediT

UB и GR задумали исследование и написали статью.

Декларация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Наличие данных

Для исследования, описанного в статье, не использовались никакие данные.

Благодарности

UB получил финансирование от проекта SustES (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797) и расширенного гранта ERC MONOSTAR (101018870).

Ссылки

Бюнтген, У., 2016. Мост через беспокойную воду – оценка научного ландшафта России. Клим. Рез. 70, 95–98.
Бюнтген, У., Крушич, П. Дж., Пьерматтей, А., Кумс, Д. А., Эспер, Дж., Мыглан, В. С., Кирдянов, А. В., Камареро, Дж. Дж., Кривелларо, А., Корнер, К., 2019. Ограниченная способность роста деревьев смягчать глобальный парниковый эффект в условиях прогнозируемого потепления. Nat. Сообщение 10, 2171.

Бюнтген У., Арсено Д., Буше Э., Чуракова (Сидорова) О.В., Дженнаретти Ф., Кривелларо А., Хьюз М.К., Кирдянов А., Клиппель Л., Крушич П.Дж., и др., 2020. Выдающаяся роль вулканизма в изменчивости климата нашей эры и истории человечества. *Дендрохронология* 64, 125757.

Бюнтген У., Аллен, К., Анчукайтис, К., Арсено, Д., Буше, Э., Брюнинг, А., Чаттерджи, С., Керубини, К., Чуракова (Сидорова), О., Корона, К. и др., 2021. Влияние принятия решений на климатические реконструкции на основе годовых колец деревьев. *Nat. Сообщ.* 12, 3411.

Каллаган, ТВ, Шадуко, О., Кирпотин, С.Н., Гордов, Е., 2021. Изменение окружающей среды в Сибири: синтез последних исследований и возможностей для сетевого взаимодействия. *Ambio* 50, 2104–2127.

Dise, NB, 2009. Реакция торфяников на глобальные изменения. *Science* 326, 810–811.

Хеффер, К., Дроун, Д., Романовский, В., Хеннесси, Т., 2020. Факторы, способствующие вспышкам сибирской язвы на циркумполярном севере. *EcoHealth* 17, 174–180.

МГЭИК, 2022. Воздействия, адаптация и уязвимость. Вклад Рабочей группы II в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Издательство Кембриджского университета.

Карьялайнен О., Аалто Дж., Луото М., Вестерманн С., Романовский В.Е., Нельсон Ф.Е., Этцельмюллер Б., Хьорт Дж., 2019. Карты циркумполярной вечной мерзлоты и индексы геологических опасностей на ближайшее будущее оценки инфраструктурных рисков. *наук. Данные* 6, 190037.

Кирдянов А.В., Крушич П.Я., Ваганов Е.А., Мыглан В.С., Фертиков А.И., Шишов В.В., Ильин В.А., Пименов А.В., Кнорре А.А., Баринов В.В. и др., 2020. Эколого- концептуальные последствия загрязнения Арктики. *Экол. Летт.* 23, 1827–1837.

Кирпотин С.Н., Антошкина О.А., Березин А.Е., Эльшехаби С., Феурдин А., Лапшина Е. Д., Покровский О.С., Перегон А.М., Семенова Н.М., Таннебергер Ф. и др., 2021. Большое Васюганское болото: как крупнейший в мире торфяник помогает решать крупнейшие мировые проблемы. *Ambio* 50, 2038–2049.

Кноблаух К., Бир К., Либнер С., Григорьев М.Н., Пфайффер Э.-М., 2018. Метан производство как ключ к балансу парниковых газов таяния вечной мерзлоты. *Nat. Clim. Chan.* 8, 309–312.

Корнхубер, К., Винке, К., Блум, Э. Т., Кэмпбелл, Л., Рахольд, В., Олсвиг, С., Ширвон, Д., 2023. Нарушение арктической исключительности: управление экологическими изменениями в свете российской агрессии. *Deutsche Gesellschaft für internationale Politik eV DGAP Report* 2, Берлин.

Крузе С., Стуензи С.М., Бойке Дж., Лангер М., Глой Дж., Герцшу У., 2022. Роман. Совместная модель вечной мерзлоты и леса (LAVESI-CryoGrid v1.0), раскрывающая взаимодействие между вечной мерзлотой, растительностью и климатом в Восточной Сибири *Geosci. Model Dev.* 15, 2395–2422.

Павленко В.И., Заика Ю.В., Купер Л.В., Есихиро И., Рис В.Г., 2021. ИСИРА: МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ИНИЦИАТИВА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ (ISIRA: Международная научная инициатива в Российской Арктике). *Арктический Вестник* 2, 54–67.

Рантанен М., Карпечко А.Ю., Липпонен А., Нордлинг К., Хиваринен О., Руостеноя, К., Вихма, Т., Лааксонен, А., 2022. С 1979 года Арктика нагревалась почти в четыре раза быстрее, чем весь земной шар. *Commun. Earth Environ.* 3, 168.

Рис, Г., Стенсет, Н. К., Бюнтген, У., 2023. Арктическая наука: возобновление сотрудничества с российскими учеными. *Nature* 613, 243.

Rees, WG, Hofgaard, A., Boudreau, S., Cairns, DM, Harper, K., Mamet, S., Mathisen, I., Swirad, Z., Tutubalina, O., 2020. Способно ли развитие субарктических лесов идти в ногу с изменением климата? *Glob. Chang. Biol.* 26, 3965–3977.

Щепаченко Д., Молчанова Е., Федоров С., Карминов В., Онтиков П., Санторо М., См. Л., Косицын В., Швиденко А., Романовская А., и др., 2021. Российские леса связывают значительно больше углерода, чем сообщалось ранее. *наук. Реп.* 11, 12825.