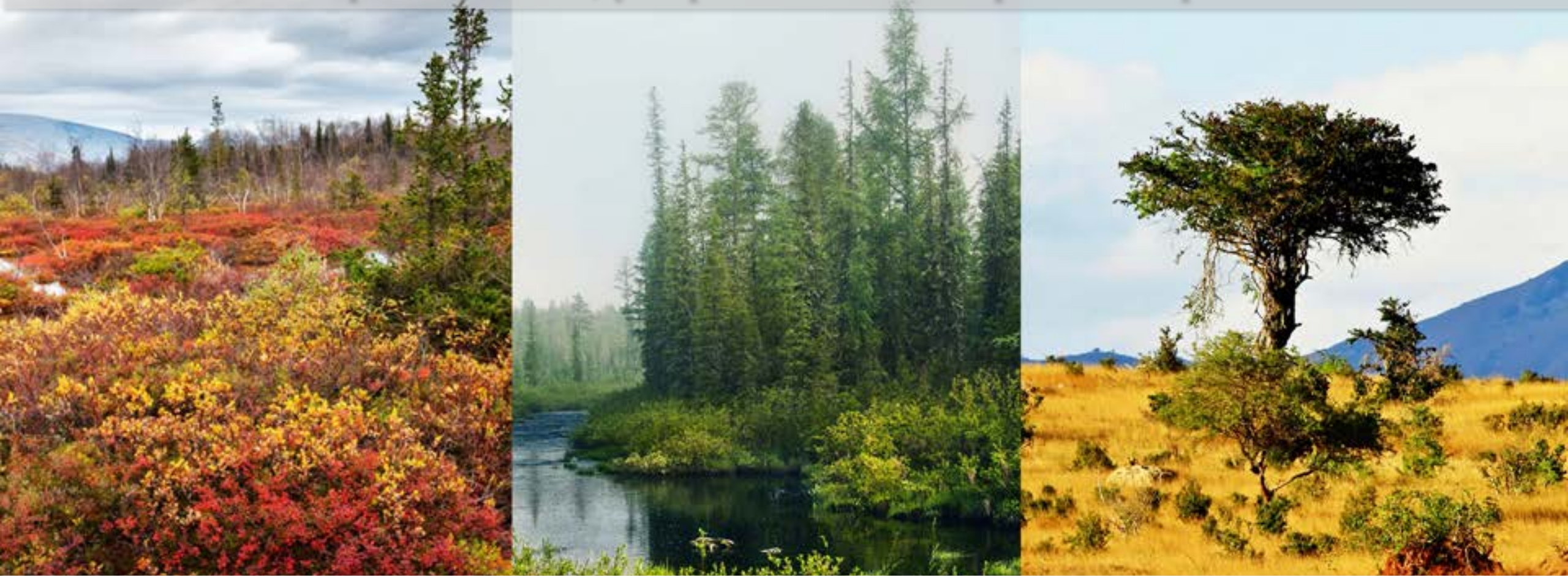


Различия в отклике потоков CO_2 и H_2O на аномальные погодные условия в тропических, умеренных и полярных широтах



Гущина Д., Горбаренко Е., Тарасова М., Железнова И., Емельянова Е., Гибадуллин Р., Ольчев А.

Кафедра метеорологии и климатологии, географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

Поддержана грантом РФФ 22-17-00073

Мотивация

- ❑ **Рабочая гипотеза:** отклик потоков CO_2 и H_2O на экстремальные погодные условия (аномальные температуры и осадки) существенно различаются в зависимости от широтной зоны, типа экосистемы и даже внутри одного биома в зависимости от географической локации
- ❑ **Новый метод определения порога экстремальности** погодных условий

Цель: Анализ влияния экстремальных погодных условий на потоки углекислого газа и водяного пара в различных экосистемах тропических, умеренных и полярных широт

Данные и метод

Данные:

Сеть FLUXNET (дискретность 30 минут)

- Температура воздуха
- Осадки
- Потоки CO₂ и H₂O (NEE и LE)

80 станций мониторинга

Период наблюдений 2-18 лет

Реанализ ERA5

- Температура воздуха (дискретность 3 часа)
- Осадки (дискретность 1 час)

Период наблюдений 1991-2021

Пространственное разрешение: 0,25°×0,25°

- ❑ Среднесуточные значения NEE, LE, температуры воздуха и количества осадков получены путем осреднения 30-минутных данных архива FLUXNET или 3-часовых и часовых данных реанализа
- ❑ Аномалии рассчитаны путем удаления среднего значения для конкретного дня, рассчитанного для доступного периода наблюдений
- ❑ Для определения значения температуры воздуха и осадков в месте локации станции мониторинга FLUXNET использовалось осреднение по ближайшим 4 узлам сетки реанализа

Индекс API

- Дефицит или избыток почвенного увлажнения может оказывать большее воздействие на NEE и LE, чем эффект наличия или отсутствия осадков
- Влажность почвы определяется кумулятивным эффектом осадков, который может быть описан с помощью индекса **API** (Kohler and Linsley ,1951; Li et al. 2021)
- **API** может служить индикатором переувлажнения почвы или дефицита влаги и отражать влияние изменения количества осадков на потоки CO₂ и эвапотранспирацию.

$$API = \sum_{t=1}^M P_t k^t$$

где P_t - количество осадков, выпавших за предшествующий заданному дню период продолжительностью t дней, M - продолжительность периода для расчета накопленного числа осадков, k - параметр, характеризующий снижение вклада выпавших осадков в текущее влагосодержание корнеобитаемого слоя почвы с течением времени. В нашем исследовании M была принята равной 14 дням, k - 0.8.

Пробелы в данных измерений, обусловленные сбоями приборов или электричества, слабой турбулентностью, сильными осадками и др. для всех станций мониторинга потоков были восполнены:

- В тропиках и умеренных широтах с использованием REddyProc package [Wutzler et al., 2018] и алгоритма, описанного в Reichstein et al. [2005];
- В полярных широтах – методом машинного обучения с использованием алгоритма Cart boost

Данные и метод

Определение пороговых значений:

Температура - > 95% квантиля (для экстремально высоких температур);
< 5% квантиля (для экстремально низких температур)

Гауссово распределение

Осадки (мгновенный отклик) > 95% квантиля (для экстремально сильных осадков)

Распределение Вейбулла

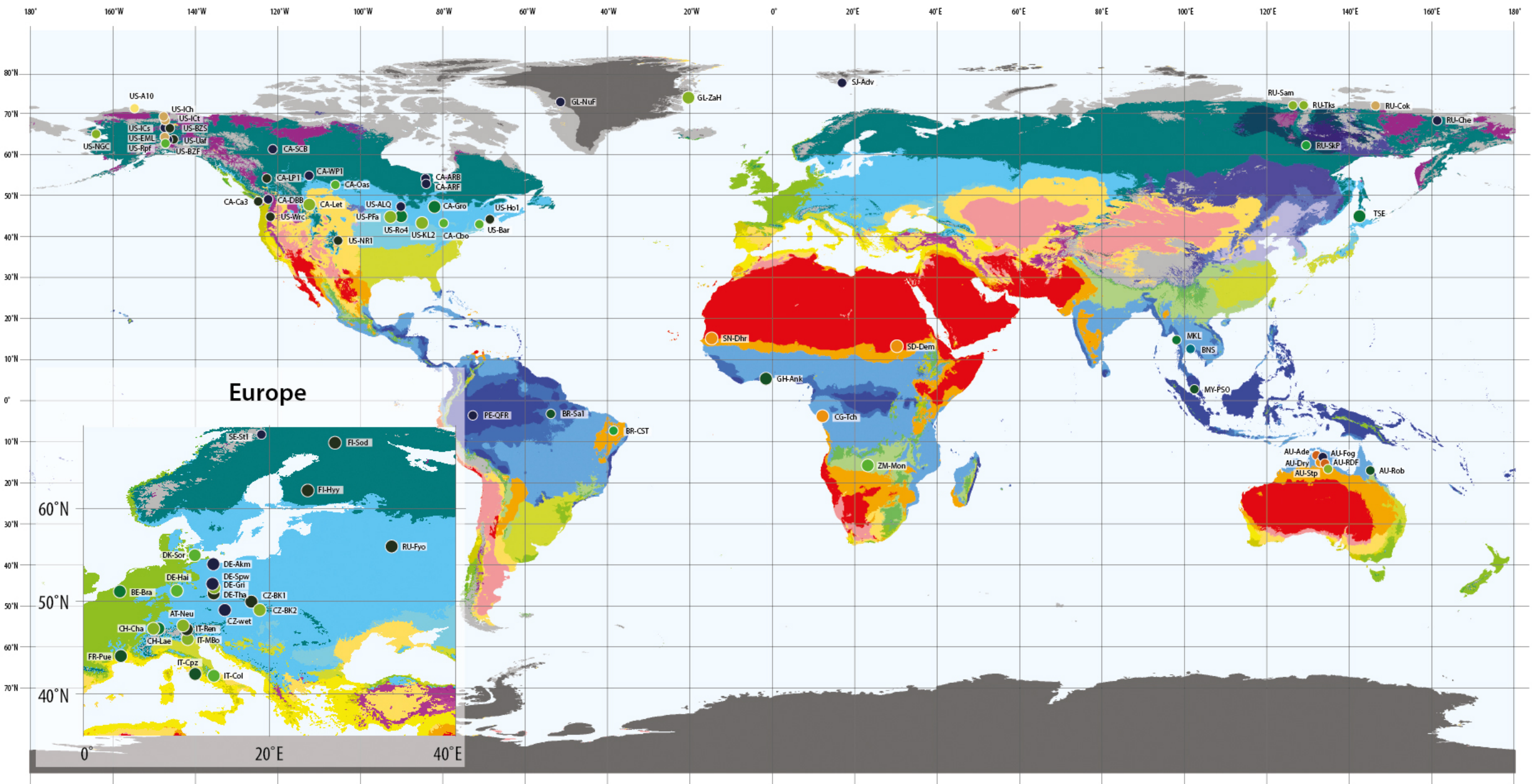
Осадки, накопленное воздействие (API) - > СКО (для экстремально высокого API)
< 5% амплитуды временного ряда (для экстремально низкого API)

NEE и LE – >1СКО (<-1 СКО) всего временного ряда

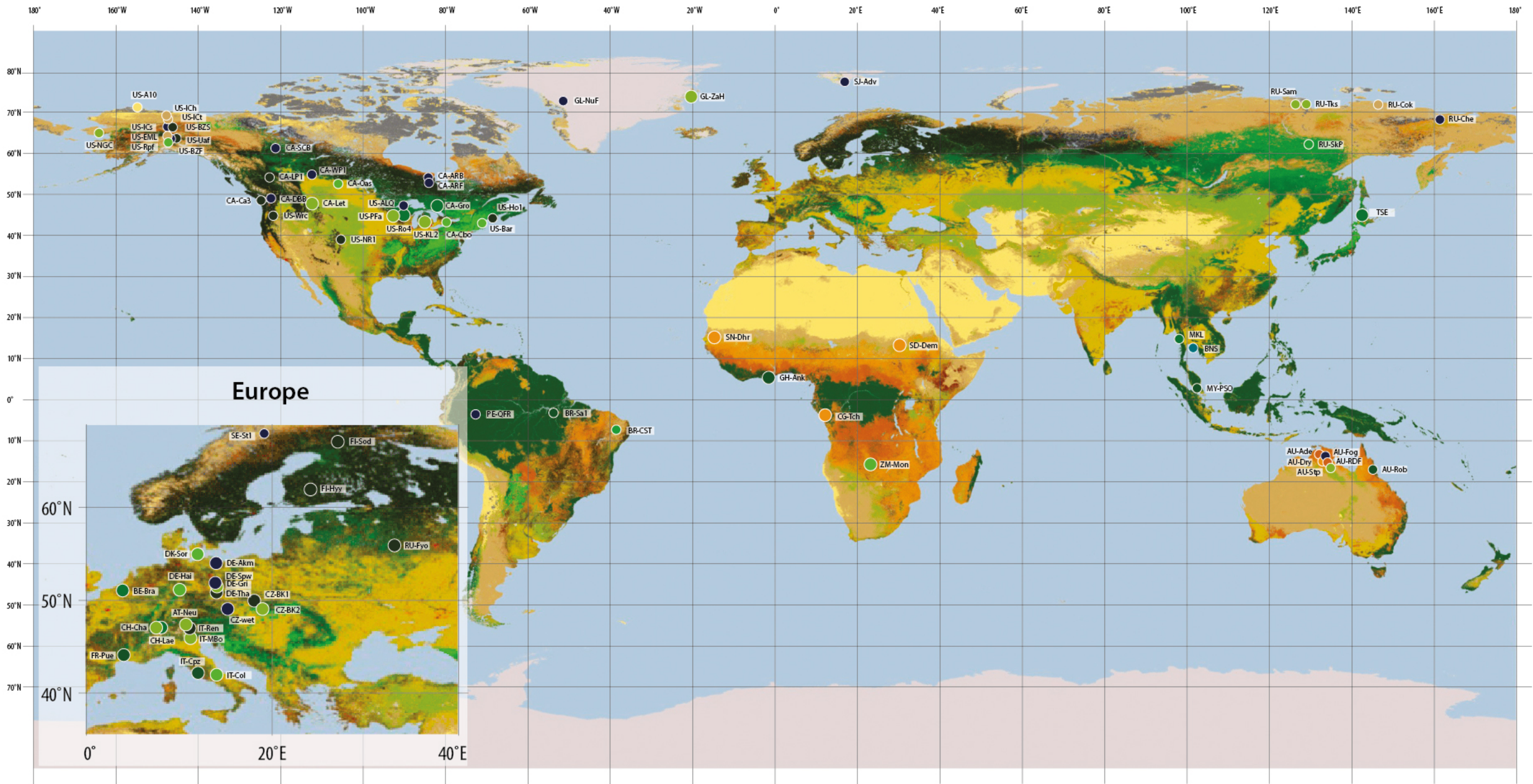
Квантильный подход не применялся для потоков и API, так как их функция распределения плотности вероятности существенно варьируется в зависимости от типа экосистемы

Порог СКО не применим для низкого API, так как СКО часто оказывается больше, чем среднее значение API для конкретного месяца, поэтому величина меньше -1СКО является отрицательной, что невозможно для количества осадков

The FLUXNET stations selected for the analysis and Köppen climate classification



The FLUXNET stations selected for the analysis and the vegetation types

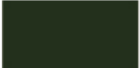


Типы климатов и растительности

Köppen climate types

 Bwh	 Dwa
 Bwk	 Dwb
 Bsk	 Dfa
 Csa	 Dfb
 Csb	 Dfc
 Cfb	 Dfd
 Dsa	 ET
 Dsb	

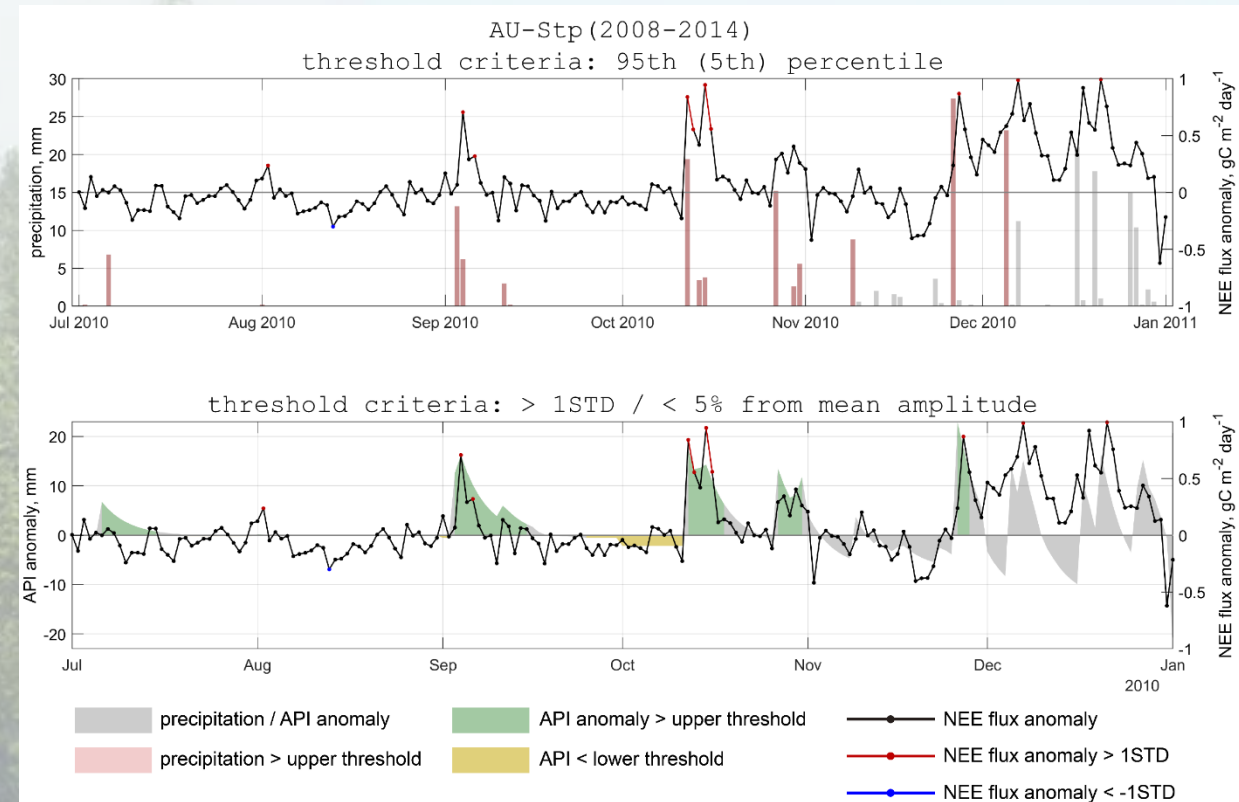
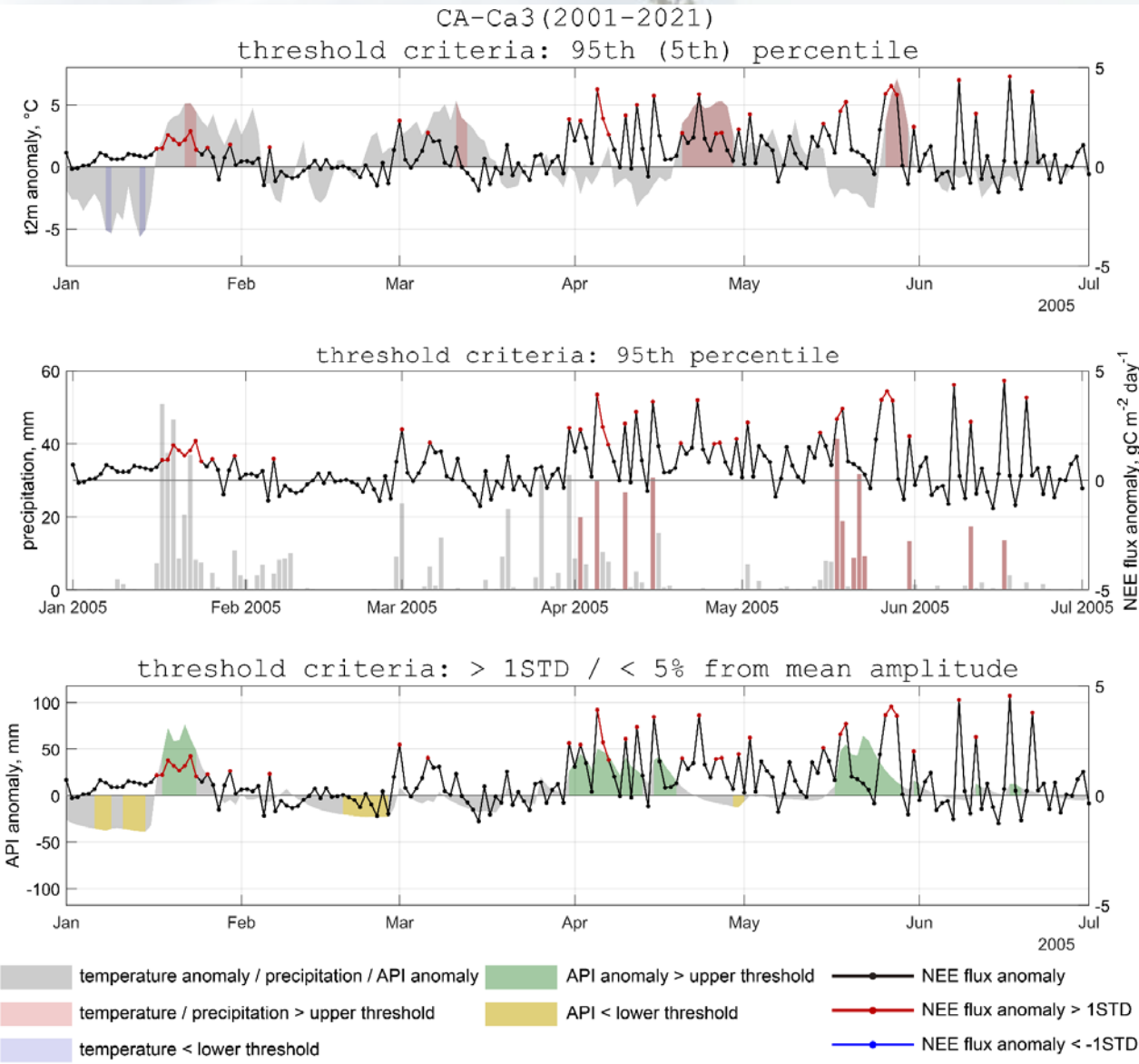
Forest types

 Evergreen Needleleaf Forest (17)	 Grasslands (13)
 Evergreen Broadleaf Forest (6)	 Permanent Wetlands (17)
 Deciduous Needleleaf Forest (2)	 Croplands
 Deciduous Broadleaf Forest (8)	 Urbans and Built-Up
 Mixed Forest (6)	 Croplands / Natural Veg. Mosaic
 Closed Shrublands	 Snow and Ice
 Open Shrublands (4)	 Barren or Sparsely Vegetated
 Woody Savannas (2)	 Tundra
 Savannas (4)	 Tropical rain forest (1)

37 в полярных, 42 в умеренных и 17 станций в тропической зоне

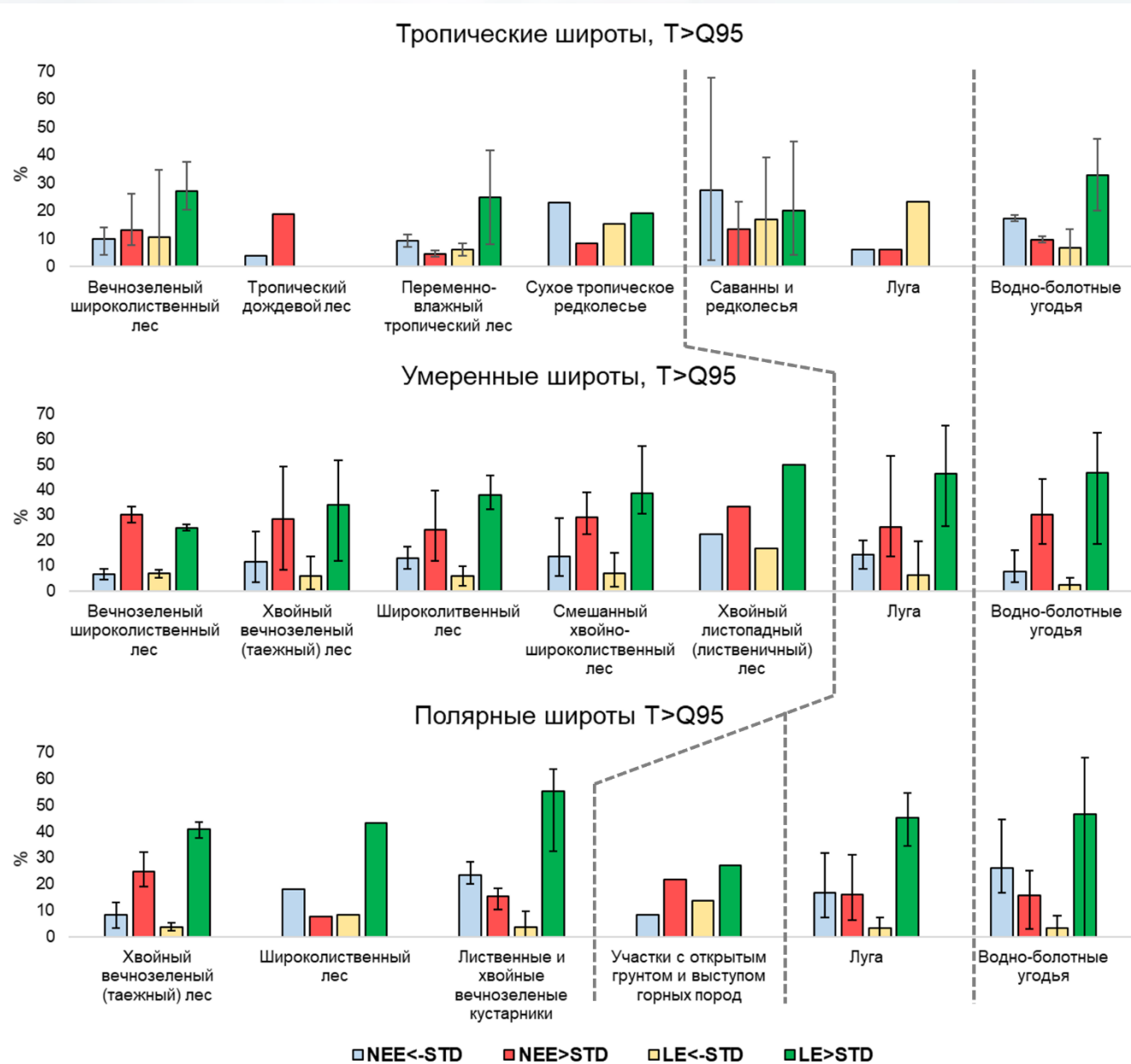
Анализировался только теплый период в умеренных и полярных широтах для обеспечения сравнимости с данными по тропическим широтам

Результаты



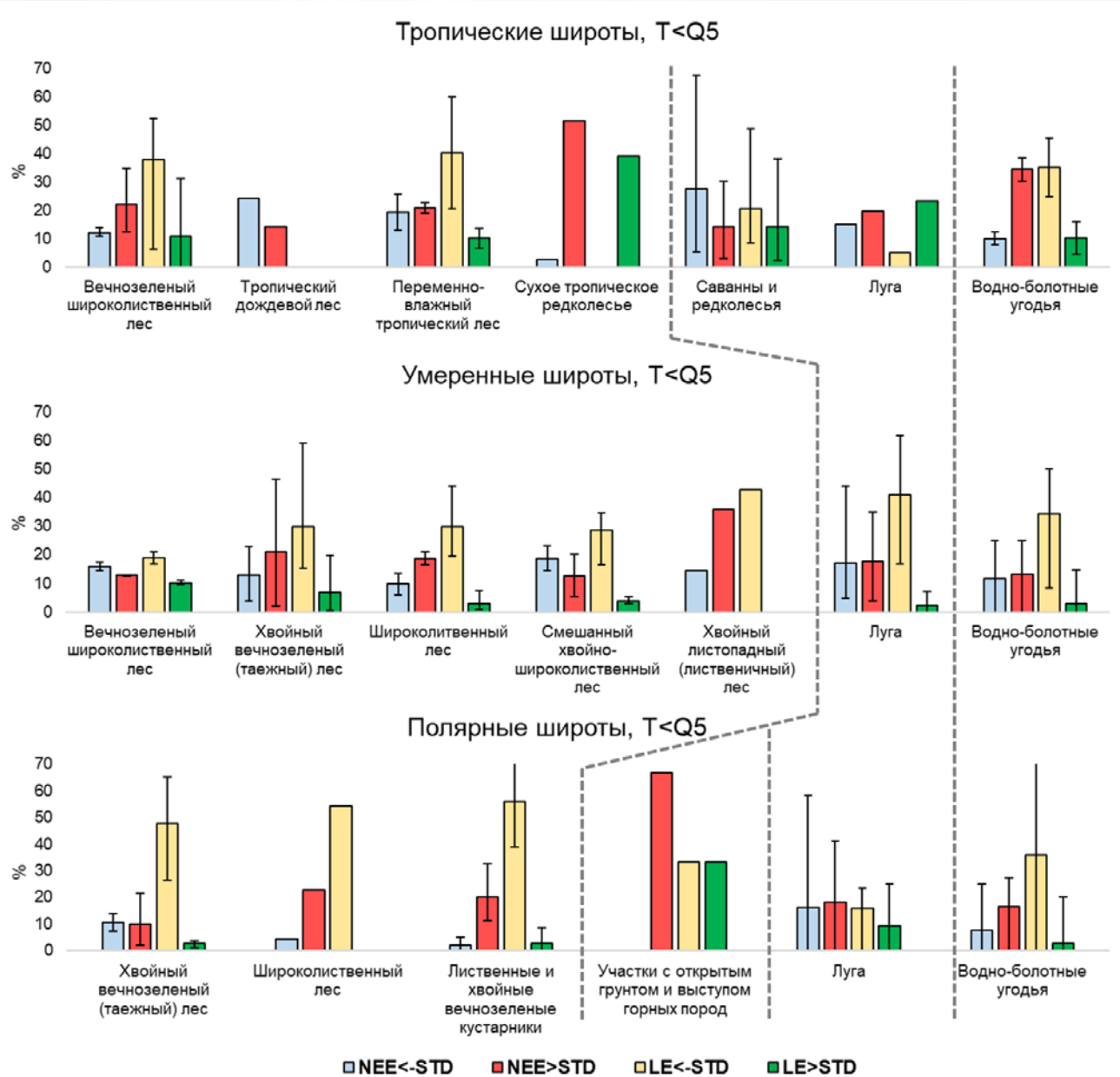
Для количественной оценки взаимосвязей между погодными экстремумами и аномалиями потоков парниковых газов был рассчитан процент дней, когда аномалии NEE или LE превышали пороговое значение (1 СКО) одновременно с превышением температуры/осадков порогового значения

Аномально высокая температура



- ✓ Аномально высокие температуры в **умеренной зоне** на большинстве станций приводят к ослаблению фотосинтеза, уменьшению валовой первичной продукции и **увеличению эмиссии CO_2** в атмосферу (тепловой стресс)
- ✓ Отклик потоков CO_2 в **тропических и полярных широтах** на аномально высокую температуру противоположен умеренным широтам: в аномально жаркие периоды **усиливается поглощение CO_2** экосистемами (в тропиках температура не лимитирующий фактор при достаточном увлажнении и большом притоке радиации; в полярных широтах $T > Q95$ лежат в диапазоне температур, благоприятных для фотосинтеза)
- ✓ **Испарение увеличивается** при высоких температурах на всех станциях

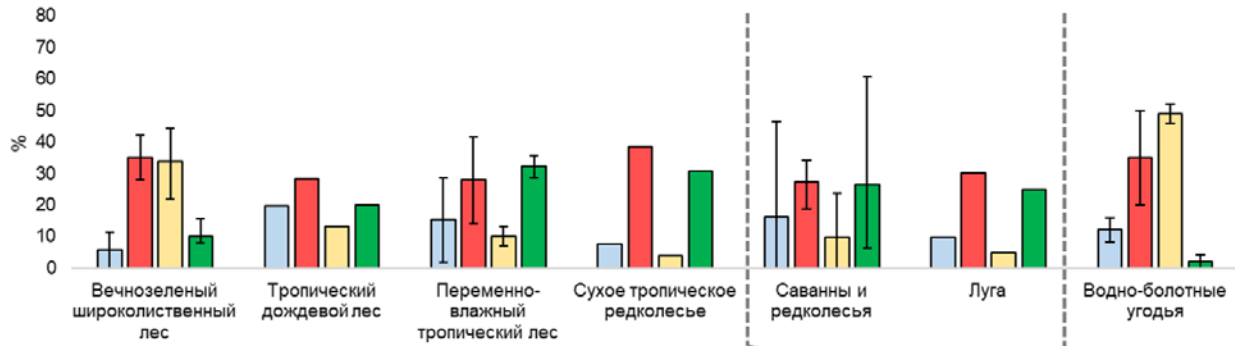
Аномально низкая температура



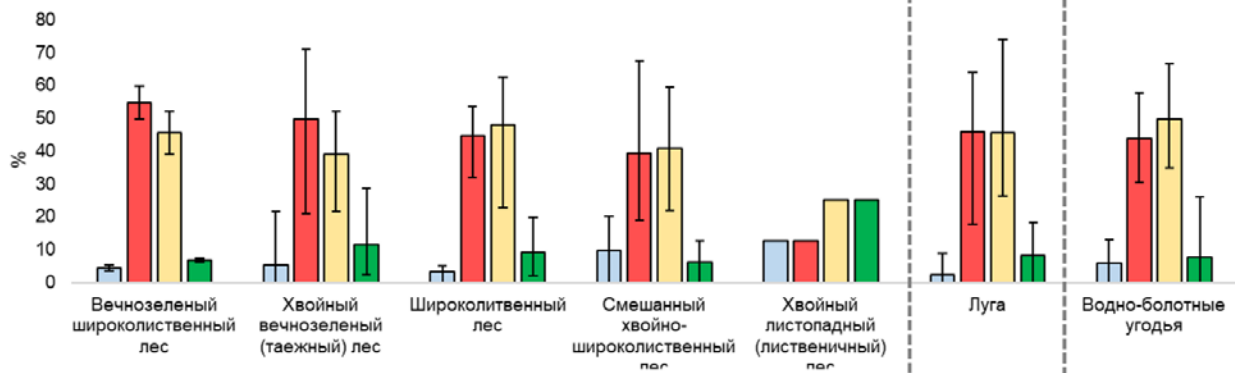
- ✓ Аномально низкие температуры приводят к **ослаблению испарения** во всех экосистемах, за исключением луговой растительности в тропиках и вечнозеленых кустарников в полярных широтах
- ✓ **Отклик потоков CO_2** на падение температуры **неоднозначен** даже в пределах одного биома в **тропиках и умеренных широтах**.
- ✓ В полярных широтах, резкие похолодания сопровождаются **усилением эмиссии**, так как температура является основным фактором, лимитирующим фотосинтез

Аномально интенсивные осадки

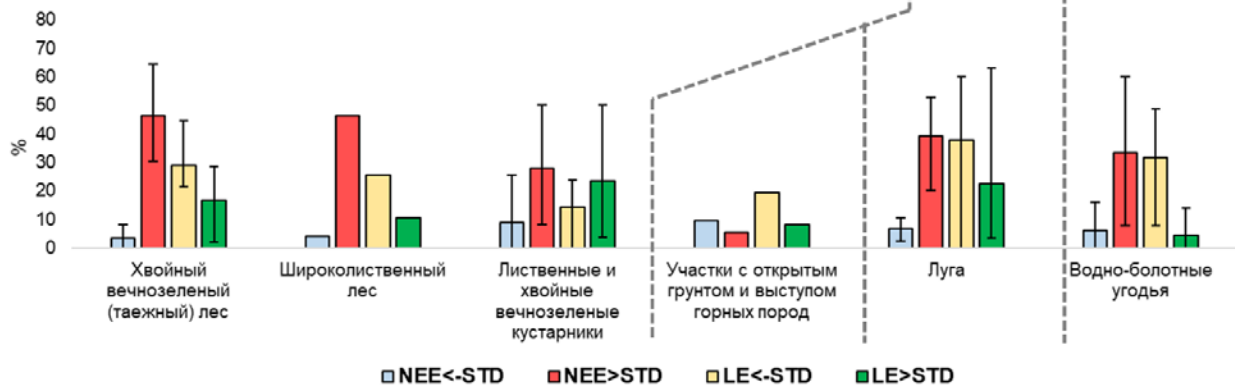
Тропические широты, $P > Q95$



Умеренные широты, $P > Q95$

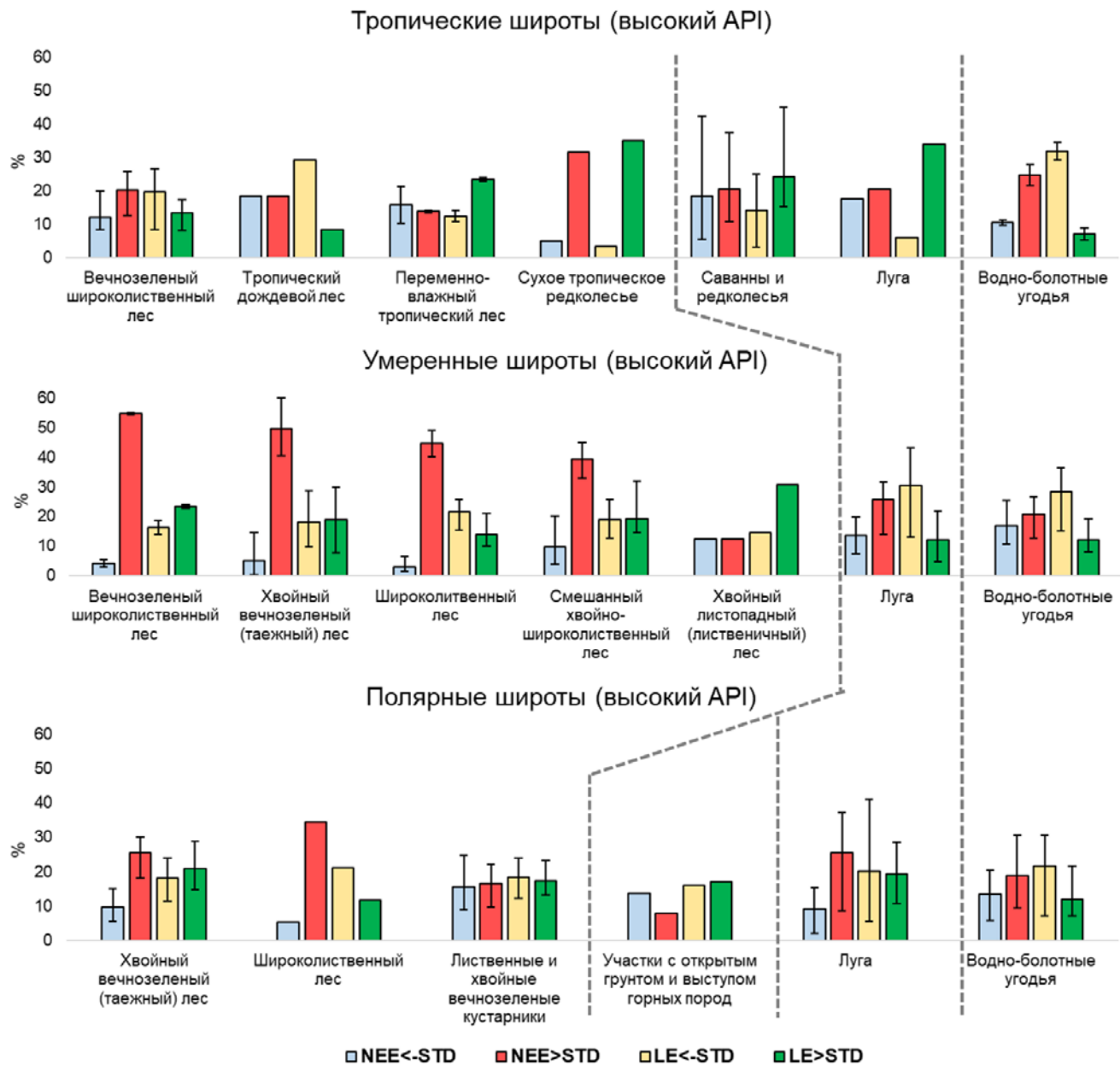


Полярные широты, $P > Q95$



- ✓ Наблюдается **сильный мгновенный отклик потоков CO_2** на интенсивные осадки во всех зонах, выраженный в **увеличении эмиссии** в результате интенсификации разложения органических остатков и аутотрофного и гетеротрофного дыхания **в период переувлажнения почвы (Эффект Бирча)**
- ✓ **Испарение ослабляется** в период интенсивных осадков **в умеренных и полярных широтах** (облачная погода, уменьшение притока радиации). **В тропиках – в основном усиливается** (высокие температуры)

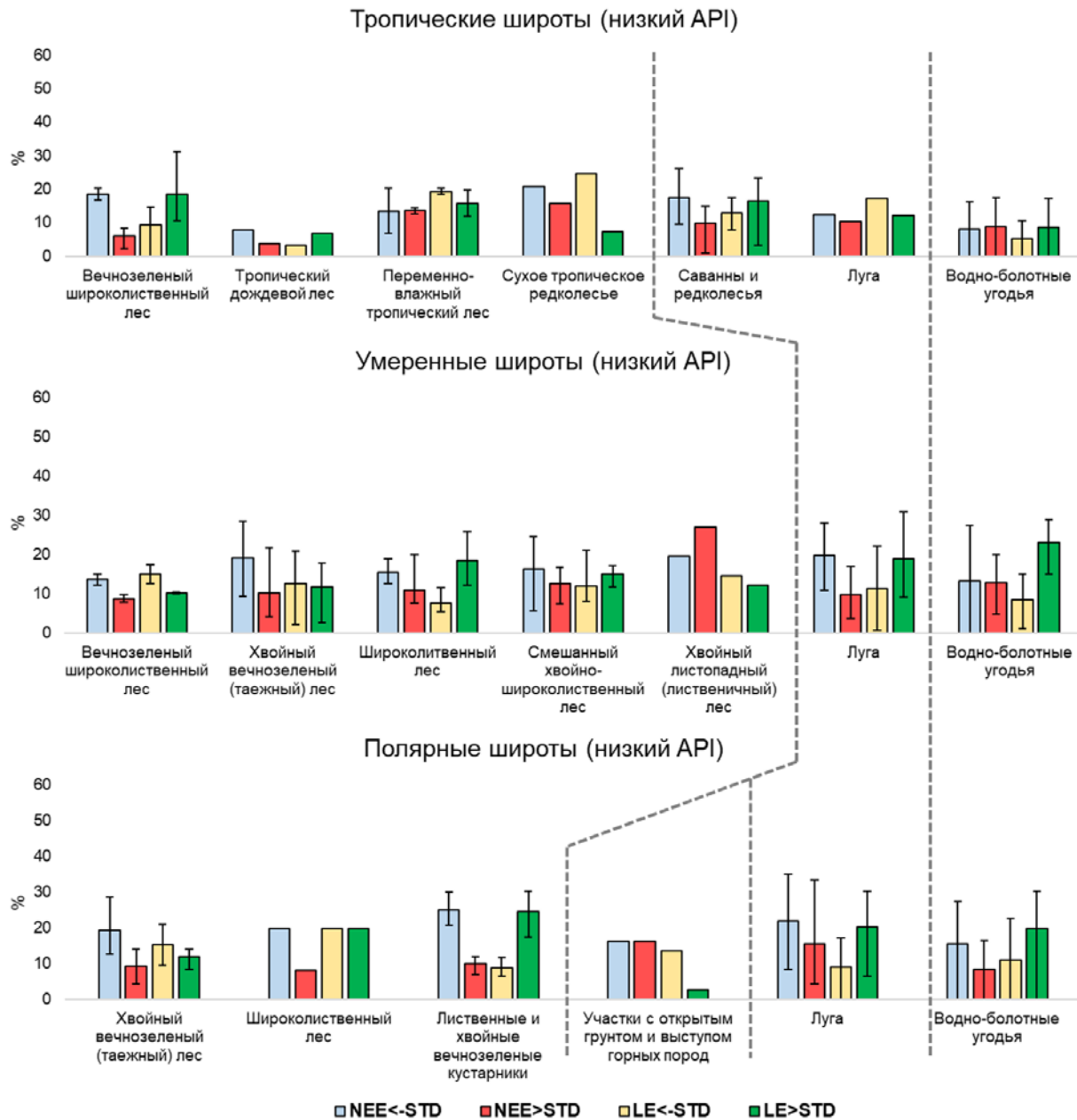
Экстремально высокий API



✓ **Накопленный эффект** интенсивных осадков, в основном, **противоположен мгновенному**: наблюдается **усиление поглощения CO₂ и интенсификация испарения** в всех широтных зонах за исключением некоторых биомов (благоприятные условия для фотосинтеза при достаточном увлажнении почвы)

✓ **В умеренных широтах** преобладает **усиленная эмиссия CO₂** в периоды после выпадения сильных осадков (доминирует эффект Бирча)

Экстремально низкий API



- ✓ Дефицит осадков в основном сопровождается **усилением поглощения CO_2** в умеренных и полярных широтах в результате высокой адаптивной способности большинства экосистем к краткосрочным (менее 14 дней) периодам без осадков
- ✓ В тропиках данный эффект менее выражен
- ✓ Отклик LE различается в биомах умеренных и тропических широт: LE увеличивается, если доминирует эффект увеличения радиационного баланса при безоблачной погоде; LE уменьшается, если доминирует эффект иссушения почвы
- ✓ В полярных широтах при низком API испарение усиливается (благодаря достаточному почвенному увлажнению)

[illegible]

ВЫВОДЫ

- Полученные результаты отличаются от традиционных представлений о реакции потоков углекислого газа на изменения температуры и осадков (**усиленная эмиссия CO_2 при жаркой и сухой погоде, усиленное поглощение CO_2 при прохладных и влажных условиях**), что обусловлено тем, что при достаточном почвенном увлажнении температура не является фактором, лимитирующим жизнедеятельность растений, что в совокупности с большим количеством приходящей солнечной радиации при малооблачной погоде способствует интенсификации фотосинтеза
- **Наиболее неблагоприятные условия для фотосинтеза – экстремальные осадки.** Во всех экосистемах они приводят к аномально высокой эмиссии CO_2 в атмосферу
- **Наиболее благоприятные условия для интенсивного поглощения CO_2 – высокие температуры и небольшое количество осадков**
- Доминирует отрицательный эффект экстремальных погодных условий на потоки CO_2 (усиленная эмиссия в атмосферу)
- Отклик на экстремальные температуры отличается большим разнообразием между экосистемами, чем отклик на экстремальные осадки

Публикации

Gushchina, D., Tarasova, M., Satosina, E., Zheleznova, I., Emelianova, E., Gibadullin, R., Osipov A., & Olchev, A. (2023). The Response of Daily Carbon Dioxide and Water Vapor Fluxes to Temperature and Precipitation Extremes in Temperate and Boreal Forests. *Climate*, 11(10), 206. <https://doi.org/10.3390/cli11100206>

Gushchina, D., Tarasova, M., Satosina, E., Zheleznova, I., Emelianova, E., Novikova, E., & Olchev, A. (2023). Effects of Extreme Temperature and Precipitation Events on Daily CO₂ Fluxes in the Tropics. *Climate*, 11(6), 117. <https://doi.org/10.3390/cli11060117>

Satosina, E., Gushchina, D., Tarasova, M., Gibadullin, R., Zheleznova, I., Emelianova, E., Osipov A., & Olchev, A. (2024) Effects of temperature and precipitation anomalies on carbon dioxide and latent heat fluxes in wetland ecosystems. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, (3). *In press*.

Сатосина, Е. М., Гущина, Д. Ю., Тарасова, М. А., Железнова, И. В., Емельянова, Е. Р., Гибадуллин, Р. Р., Осипов А.М. & Ольчев, А. В. (2024). Влияние аномалий температуры и осадков на потоки диоксида углерода во внетропических лесах Северного полушария. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, (2), 19-30.

Сатосина Е.М., Тарасова М.А., Гущина Д.Ю., Железнова И.В., Емельянова Е.Р., Гибадуллин Р.Р., Осипов А.М., Ольчев А.В. Влияние экстремальных явлений погоды на потоки парниковых газов в лесных экосистемах умеренных и тропических широт. Сборник статей: “Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества. Материалы III всероссийской научной конференции с международным участием” ФГБУ «ИГКЭ» Москва, 2023, с.409-413.