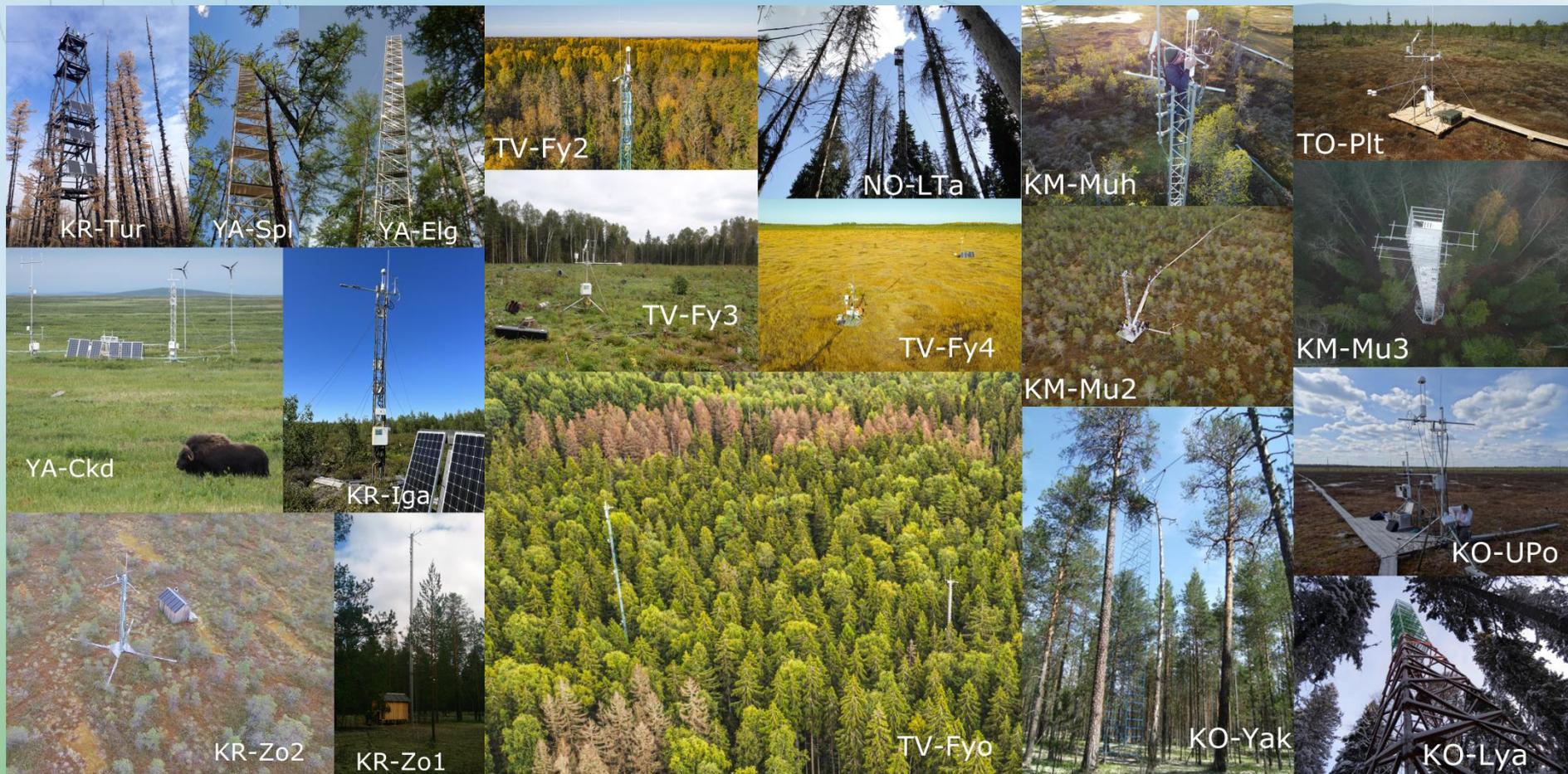


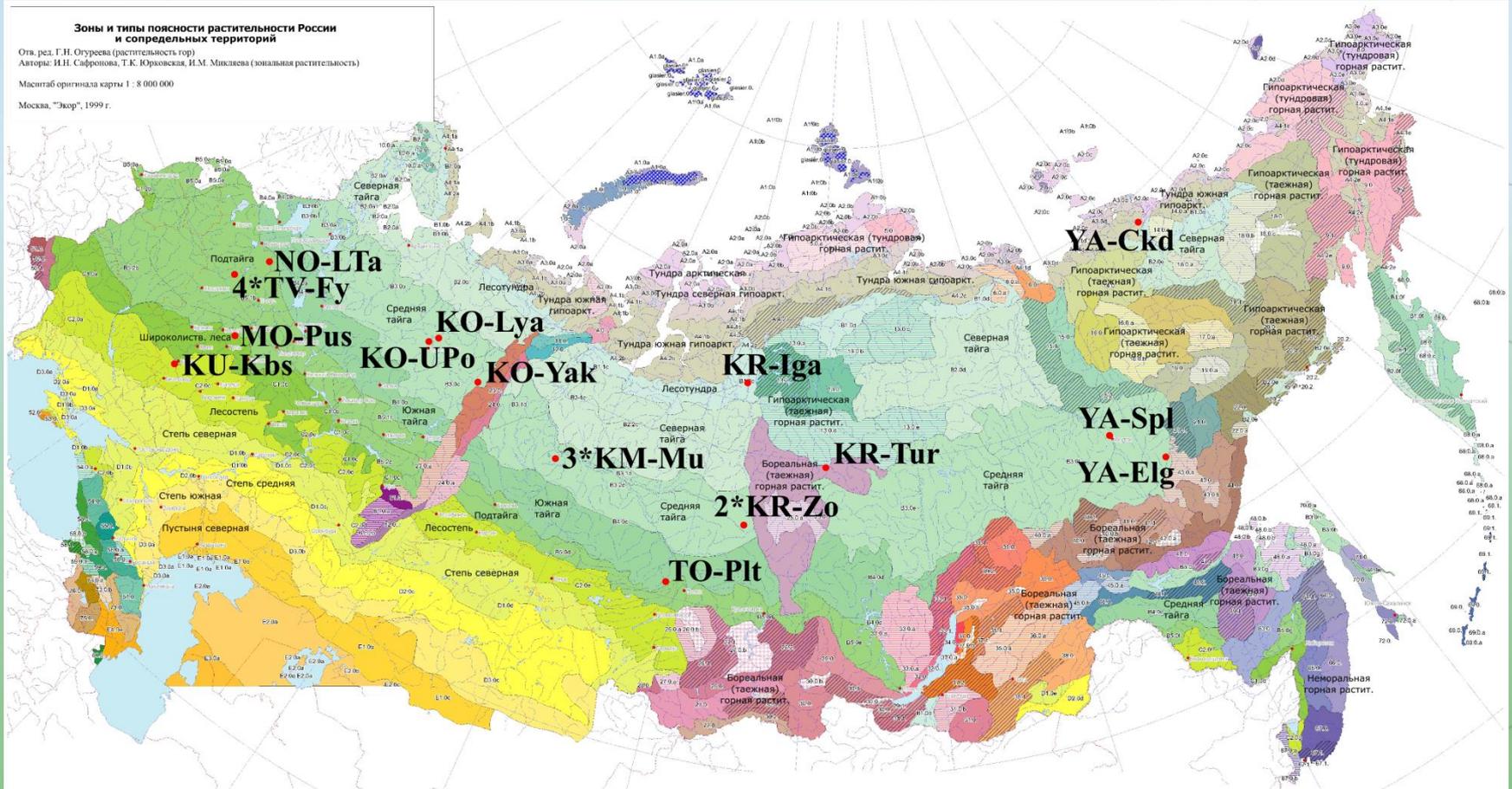
# МОНИТОРИНГ ЭКОСИСТЕМНЫХ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ: СЕТЬ RUFLUX



О.А. Куричева, В.К. Авиллов, А.В. Варлагин, М.Л. Гитарский, А.А. Дмитриченко, Е.А. Дюкарев, С.В. Загирова, Д.Г. Замолотчиков, В.И. Зырянов, Д.В. Карелин, С.В. Карсанаев, И.Н. Курганова, Е.Д. Лапшина, А.П. Максимов, Т.Х. Максимов, В.В. Мамкин, А.С. Марунич, М.Н. Мигловец, О.А. Михайлов, А.В. Панов, А.С. Прокушкин, Н.В. Сиденко, А.В. Шилкин, Юлия Курбатова. Изв. РАН, 2023 г.

# RUFLUX на 01/2023

- 18 станций измеряли в 2010-22 гг., 4(5) планируются
- >190 станций-лет наблюдений (ср. TCOS-Siberia: 47 с.-л., 1998-2005)

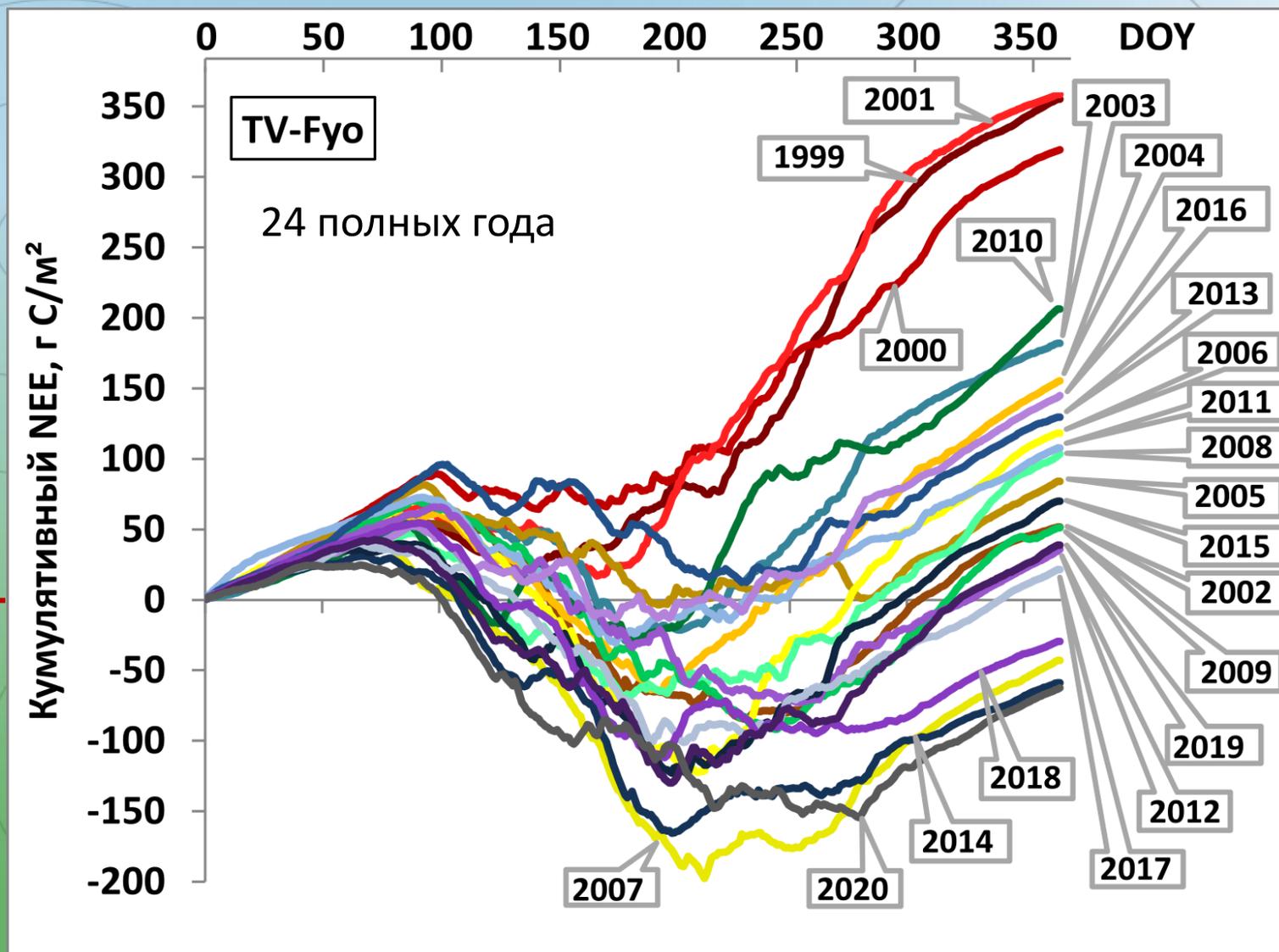


Новгородская, Тверская обл., Респ. Коми, Ханты-Мансийский АО,  
Томская обл., Красноярский край, Респ. Саха (Якутия)

# Кумулятивный чистый экосистемный обмен CO<sub>2</sub> (NEE): заболоченный ельник Тверской обл.

ИСТОЧНИК  
CO<sub>2</sub>

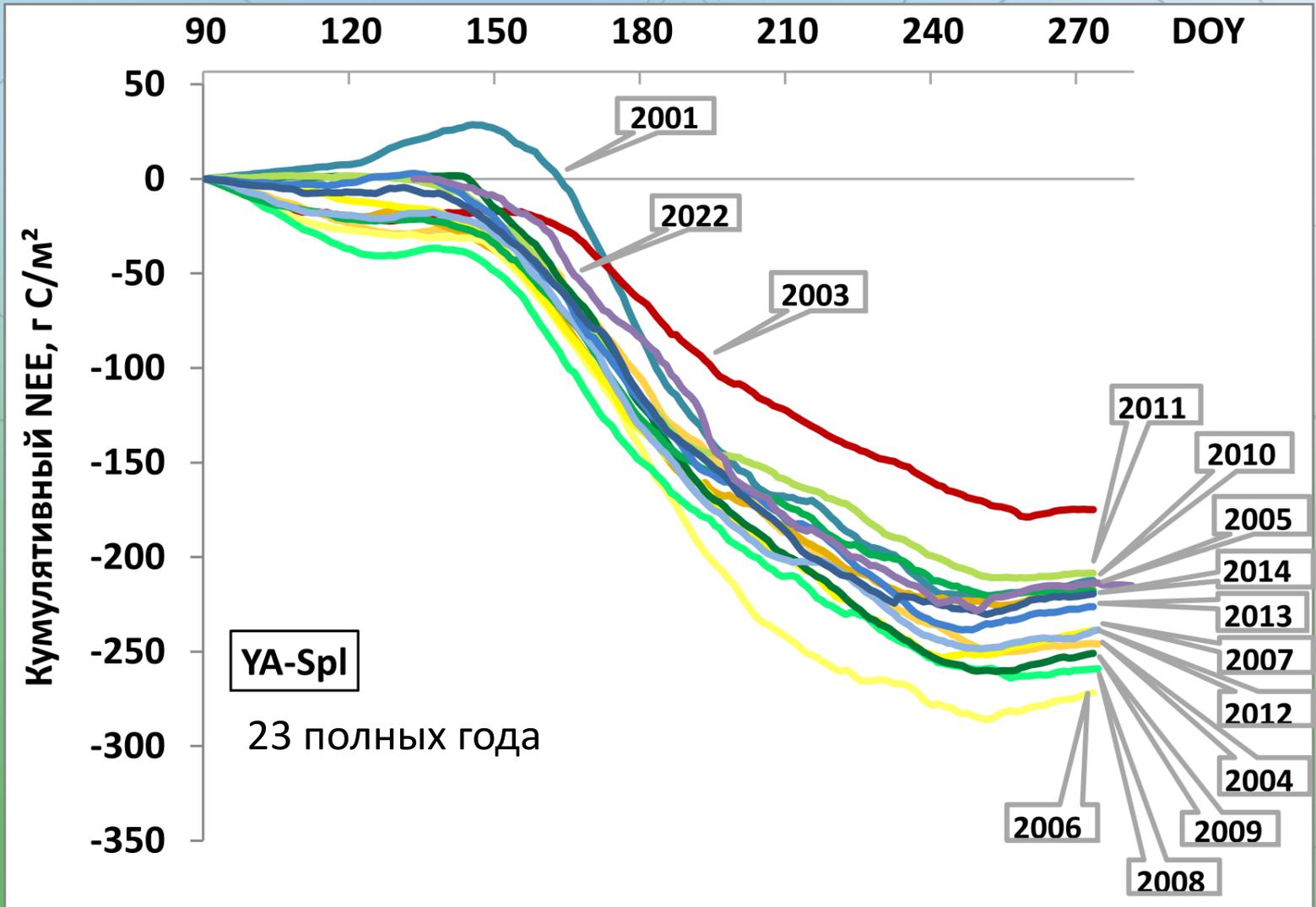
СТОК CO<sub>2</sub>



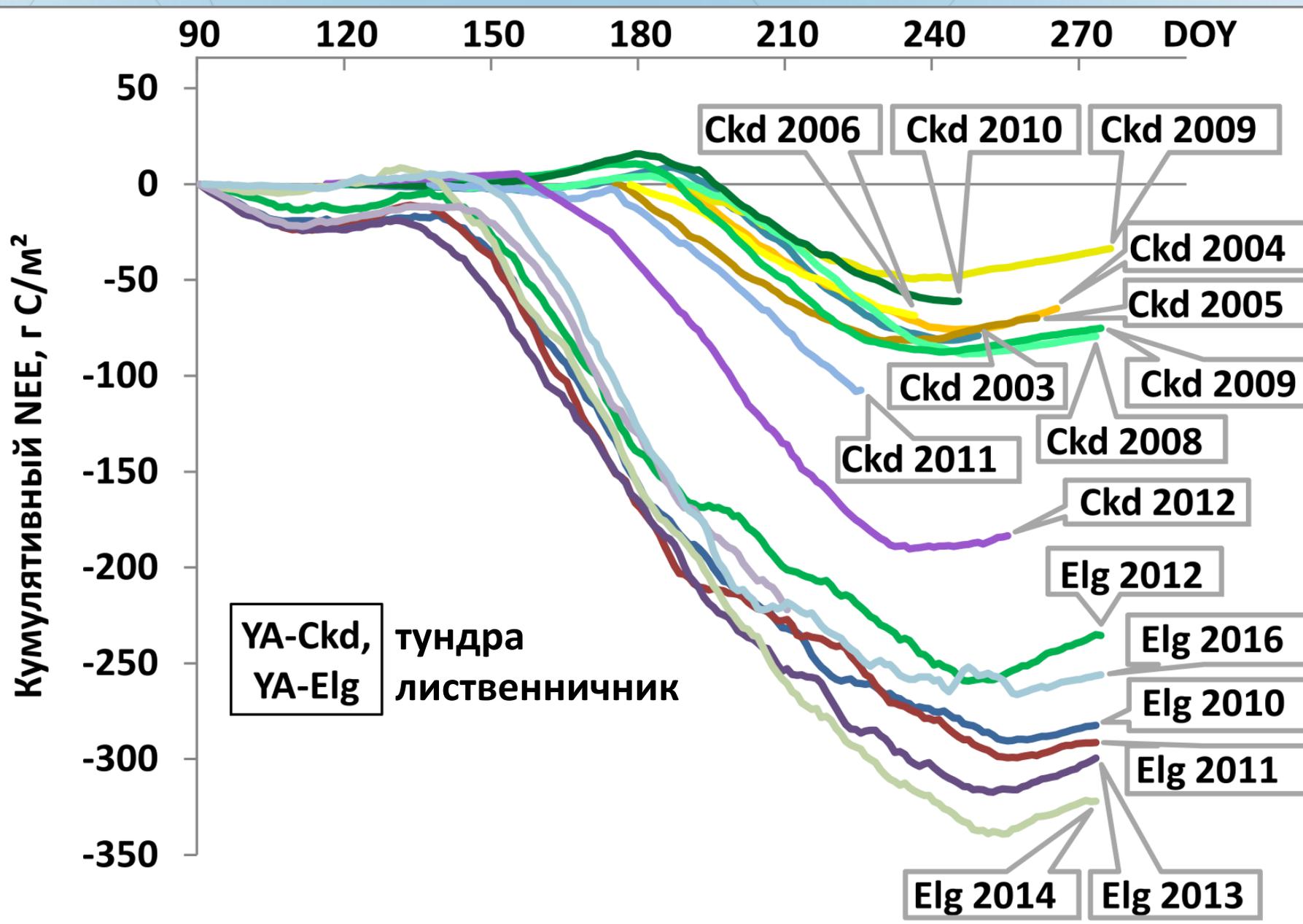
# Кумулятивный чистый экосистемный обмен $\text{CO}_2$ (NEE): лиственничник Якутии

ИСТОЧНИК  $\text{CO}_2$

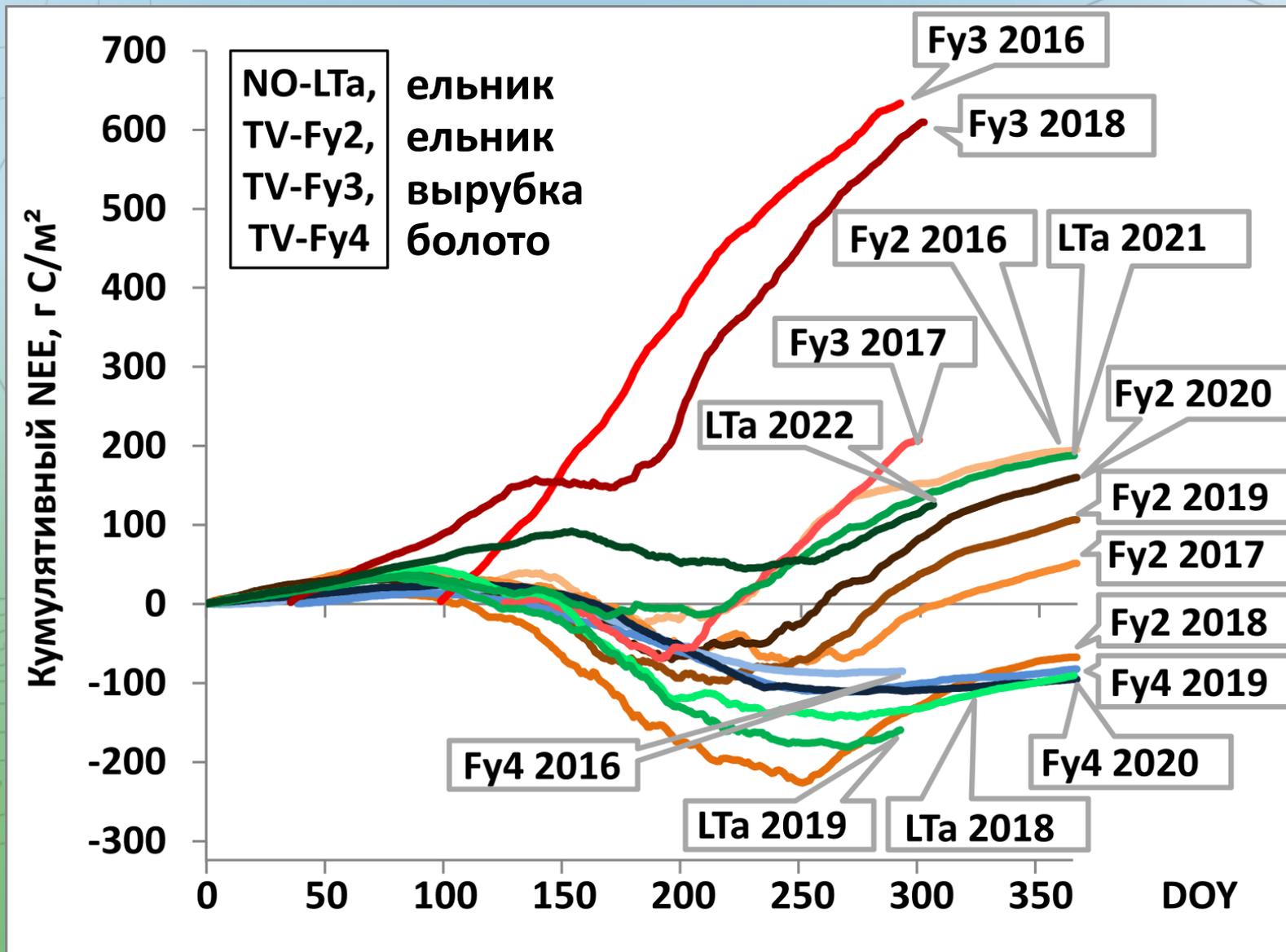
СТОК  $\text{CO}_2$



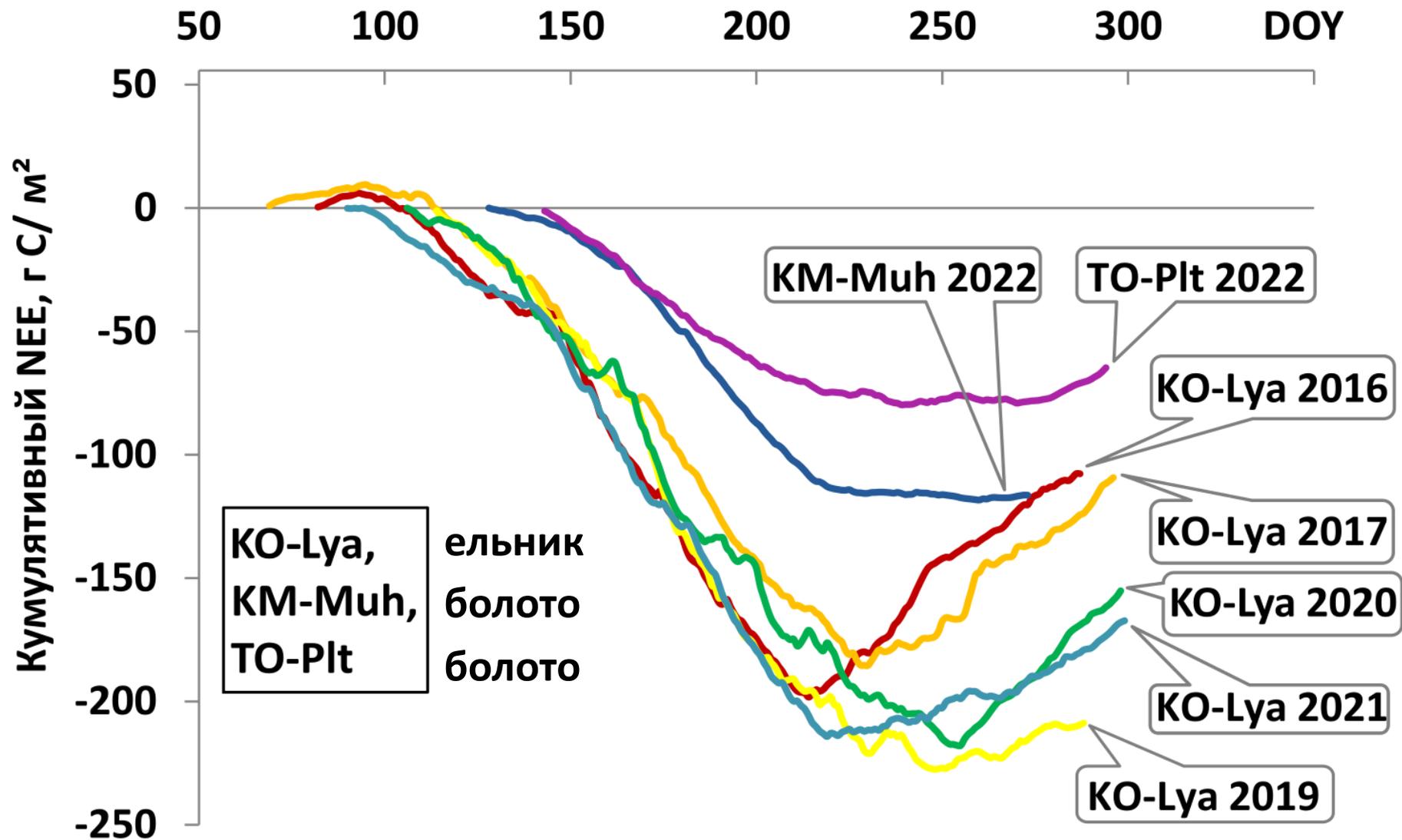
# Кумулятивный NEE: тундра, лиственничник УА



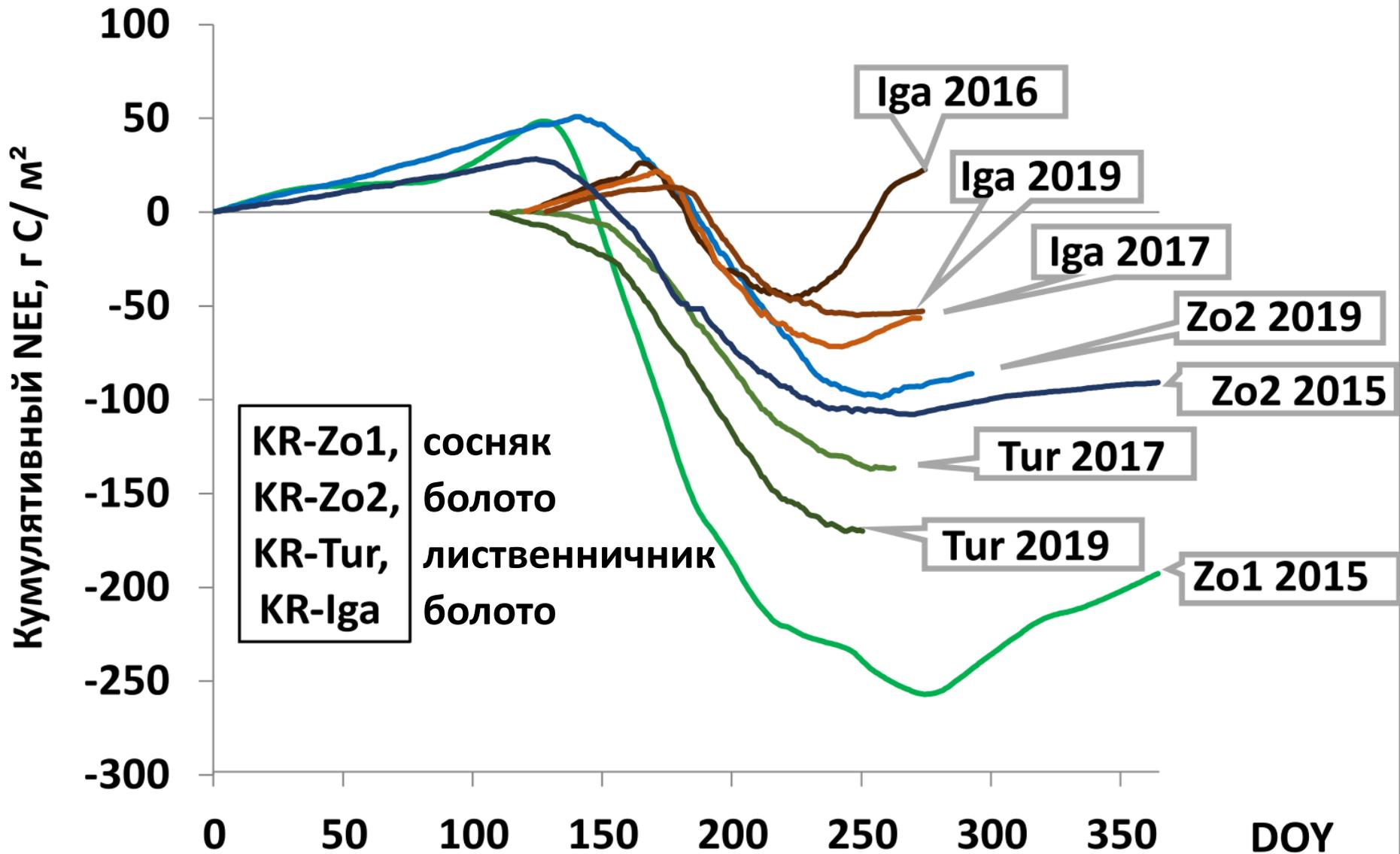
# Кумулятивный чистый экосистемный обмен: Новгород. обл., другие экосистемы Тверской обл.



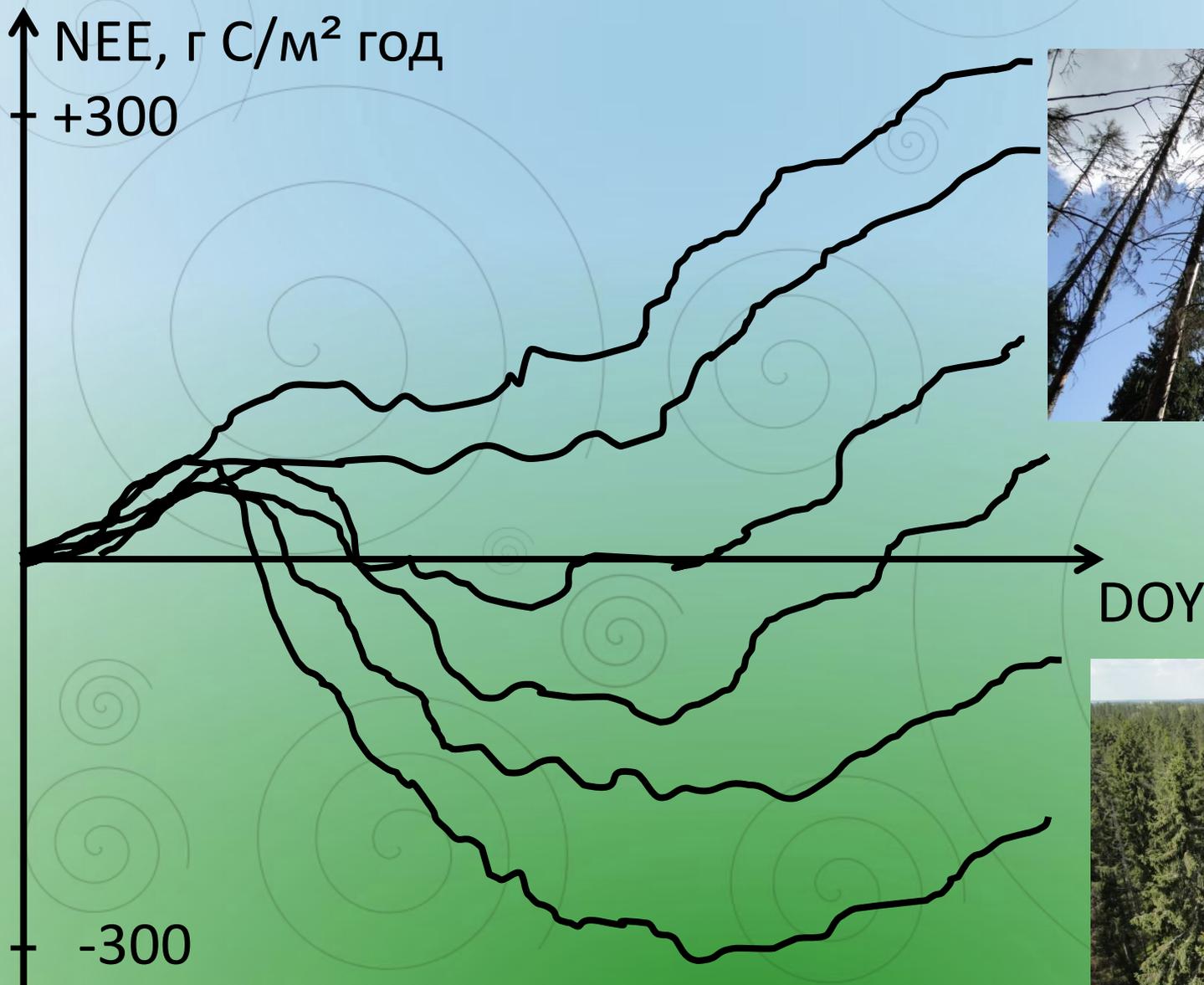
# Кумулятивный NEE: Коми, Западная Сибирь



# Кумулятивный NEE: KRASFLUX



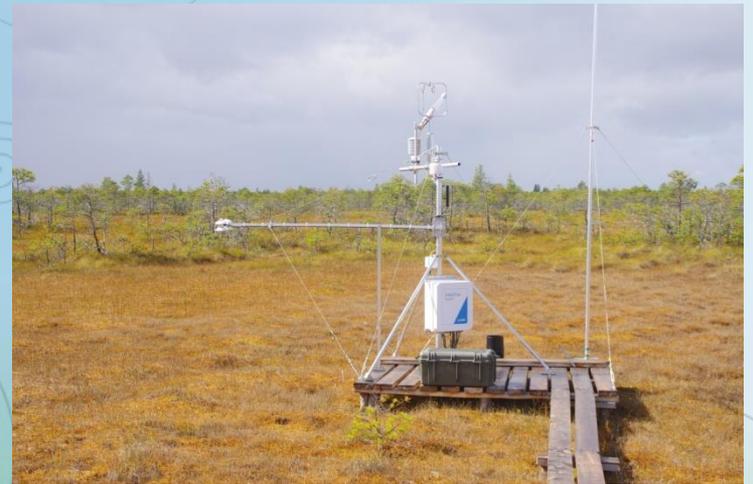
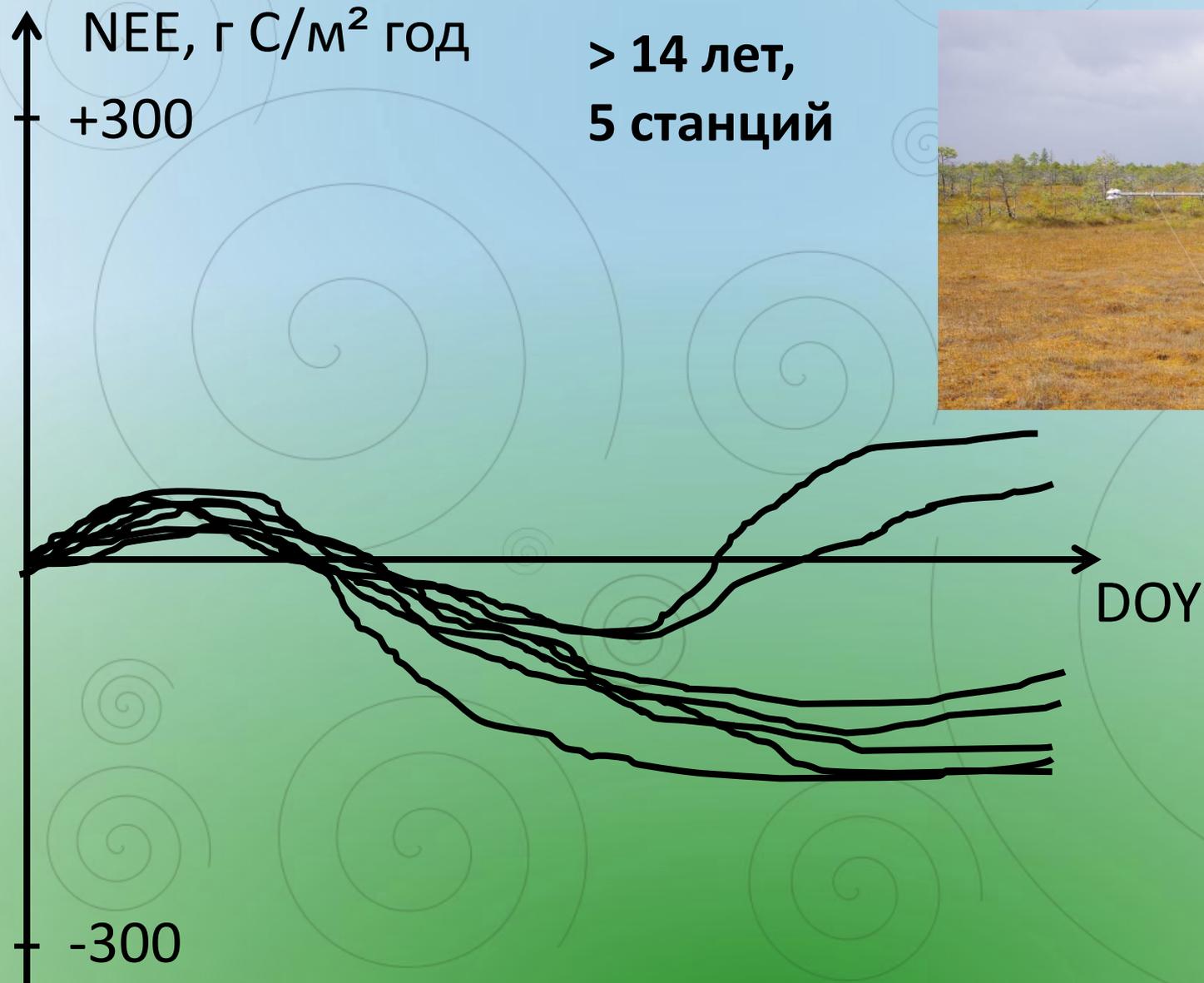
# Кумулятивный NEE: ельники



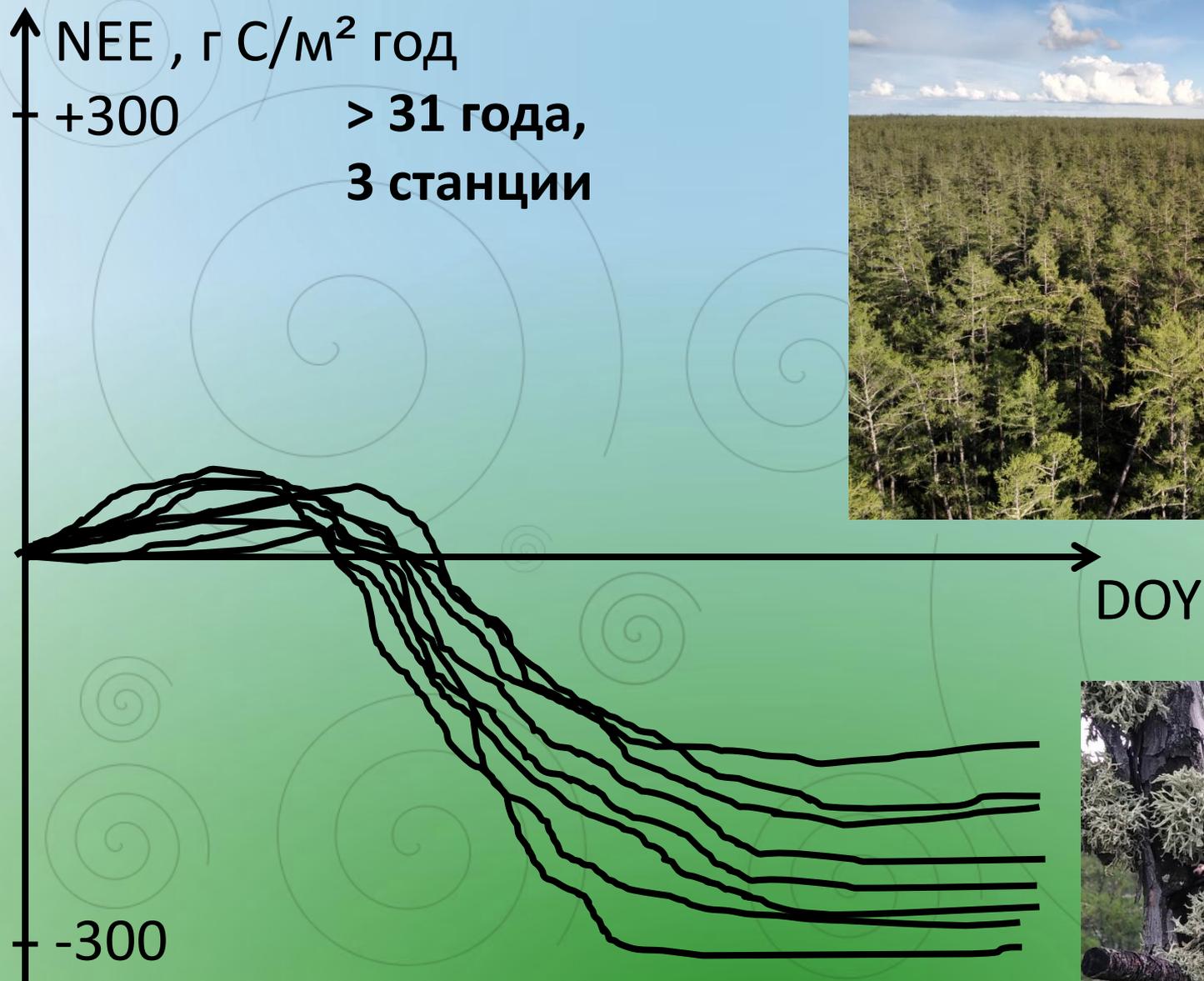
**> 35 лет,  
4 станции**



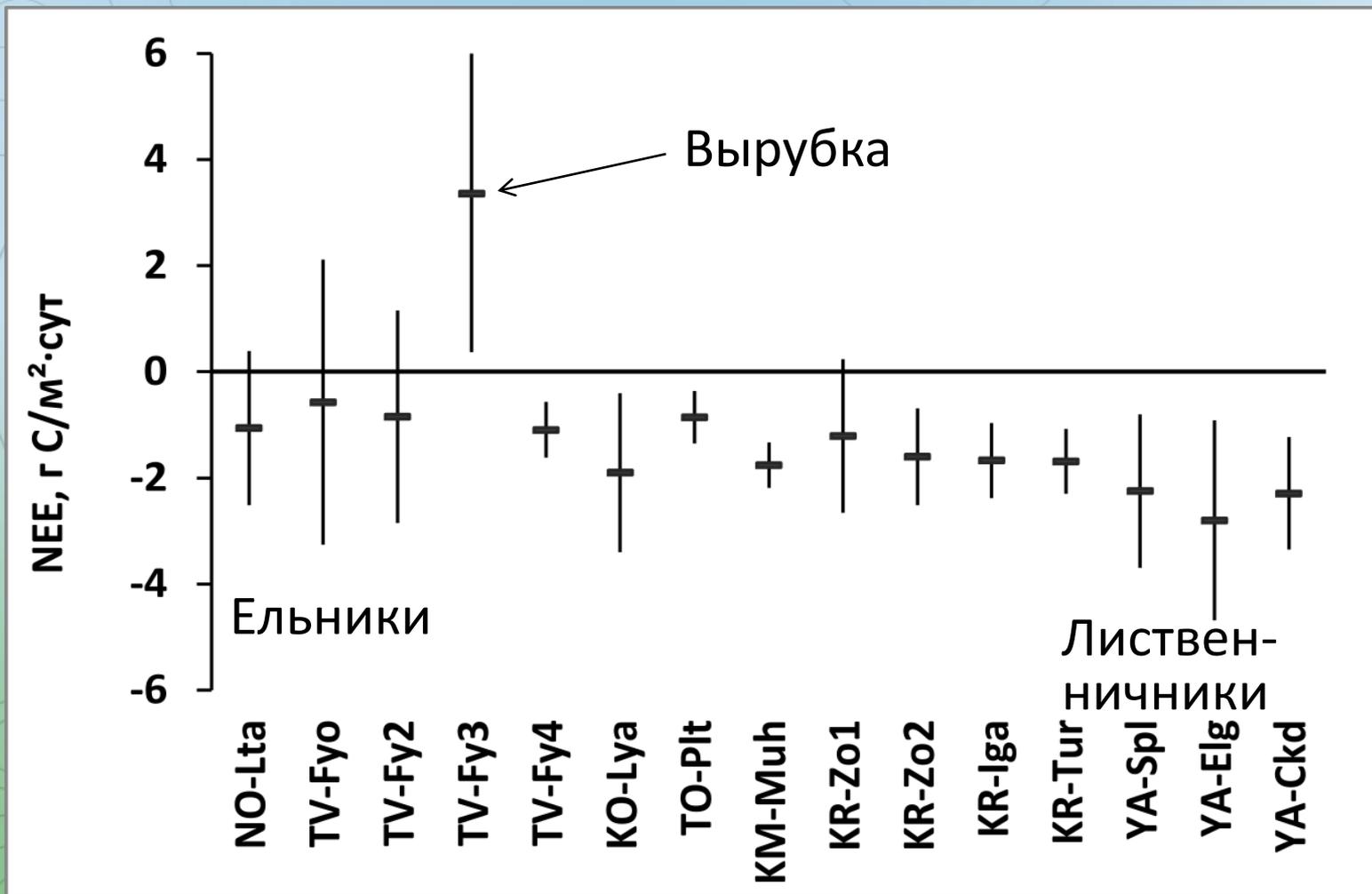
# Кумулятивный NEE: болота



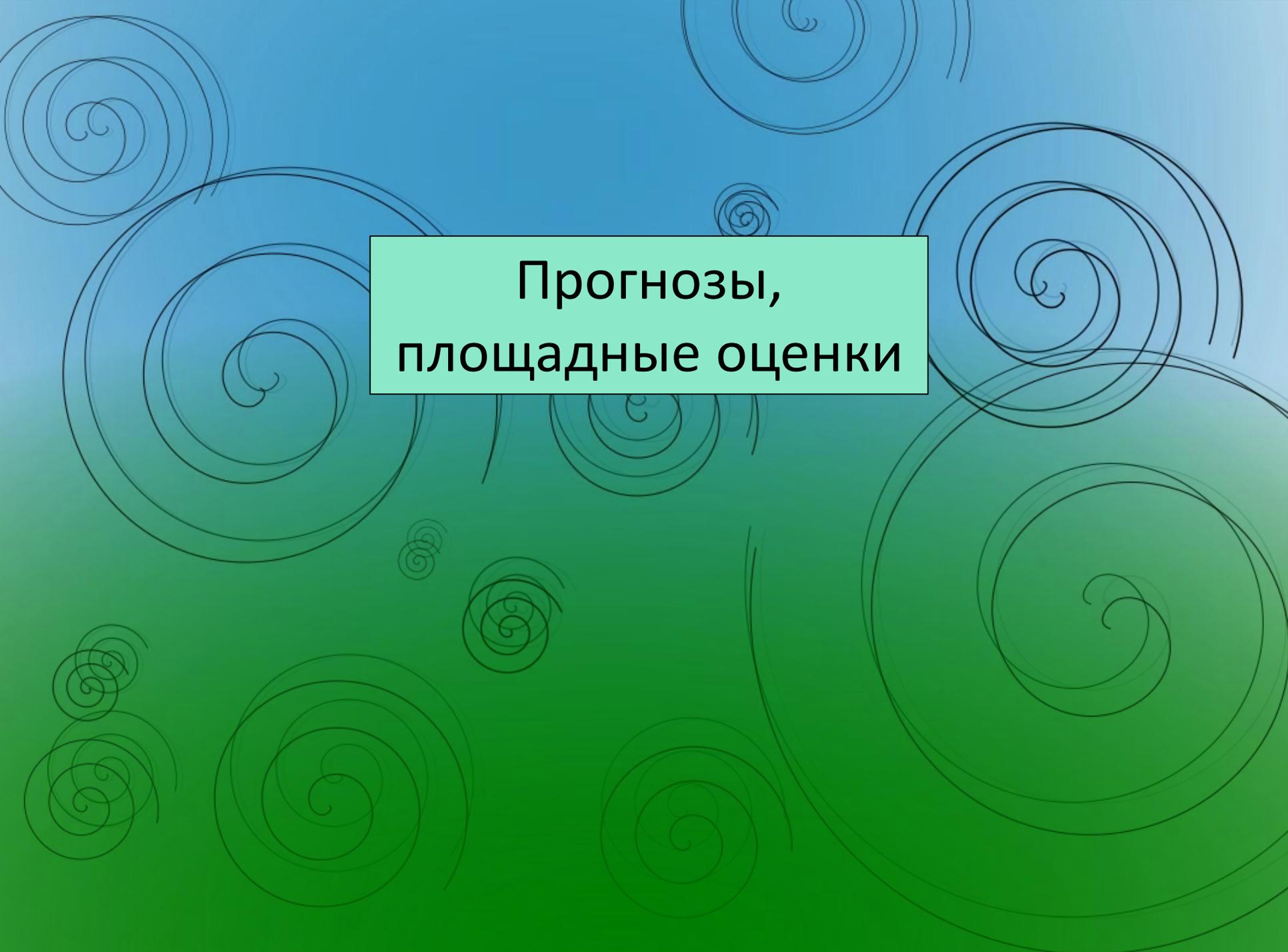
# Кумулятивный NEE: лиственничники



# Суточные суммы чистого экос. обмена в июле



- Ср. сут. *NEE* в июле для лесов (TV-Fyo, TV-Fy2, NO-LTa, KO-Lya, KR-Zo1, KR-Tur, YA-Spl, YA-Elg), =  $-1.72 \pm 0.82$  г С/м<sup>2</sup>·сут,
  - Ср. сут. *NEE* для болот (TV-Fy4, KM-Muh, TO-Plt, KR-Zo2) =  $-1.40 \pm 0.40$  г С/м<sup>2</sup>·сут.
- Оговорка: не у всех экосистем минимум *NEE* именно в июле



Прогнозы,  
площадные оценки

# Ельник Лог Таежный (Новгородская обл.), 2010-2022



# Прогноз изменений $NEE$ для ельника Новгородской обл. при распаде древостоя

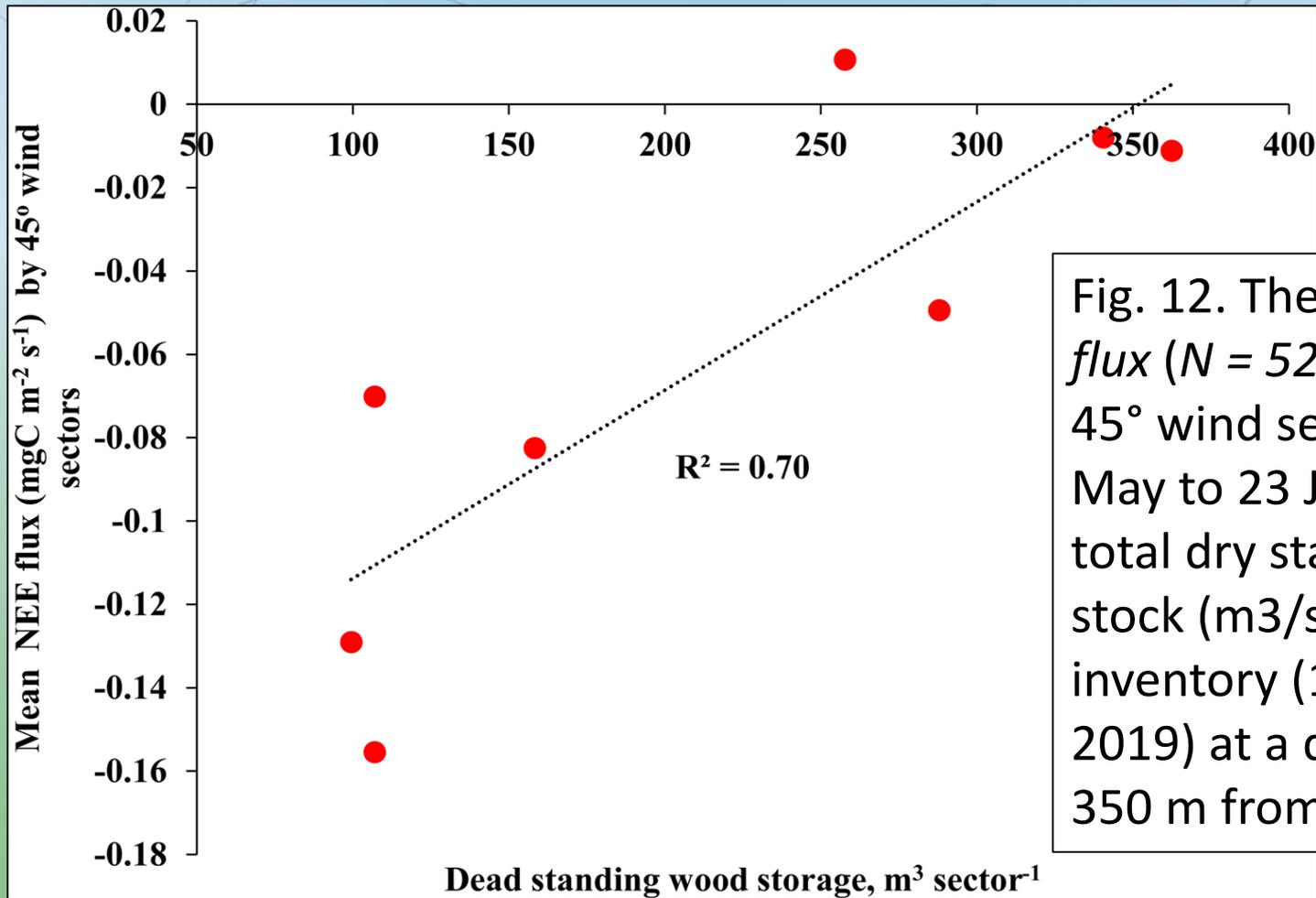


Fig. 12. The average  $NEE$  flux ( $N = 5206$ ) by eight  $45^\circ$  wind sectors from 1 May to 23 July 2019 vs. total dry standing spruce stock ( $\text{m}^3/\text{sector}$ ), inventory (16–23 July 2019) at a distance of 30–350 m from the EC tower.

Karelin et al., 2021. The effect of tree mortality on  $\text{CO}_2$  fluxes in an old-growth spruce forest. European Journal of Forest Research (2021) 140:287–305

# Площадные оценки НЕЕ для лиственничников Якутии, Сибири и России

**Table 4.6** Annual carbon budget of larch forests in Siberia and Yakutia (Maximov 2007)

Territory	CO <sub>2</sub> flux [Gt C year <sup>-1</sup> ]	Profit [%]
Assimilation		
Siberia <sup>a</sup>	1.3	100
Larch in Siberia	0.4–1.0	54
Larch in eastern Siberia (Yakutia)	0.2–0.4	23
Emission		
Russia's soil <sup>b</sup>	2.6–3.0	100
Larch in Siberia	0.8–0.9	27
Larch in eastern Siberia (Yakutia)	0.4	12
Net ecosystem gas exchange (NEE)		
Russia <sup>b</sup>	0.82	100
Larch in Siberia	0.45	55
Larch in eastern Siberia (Yakutia)	0.18	22

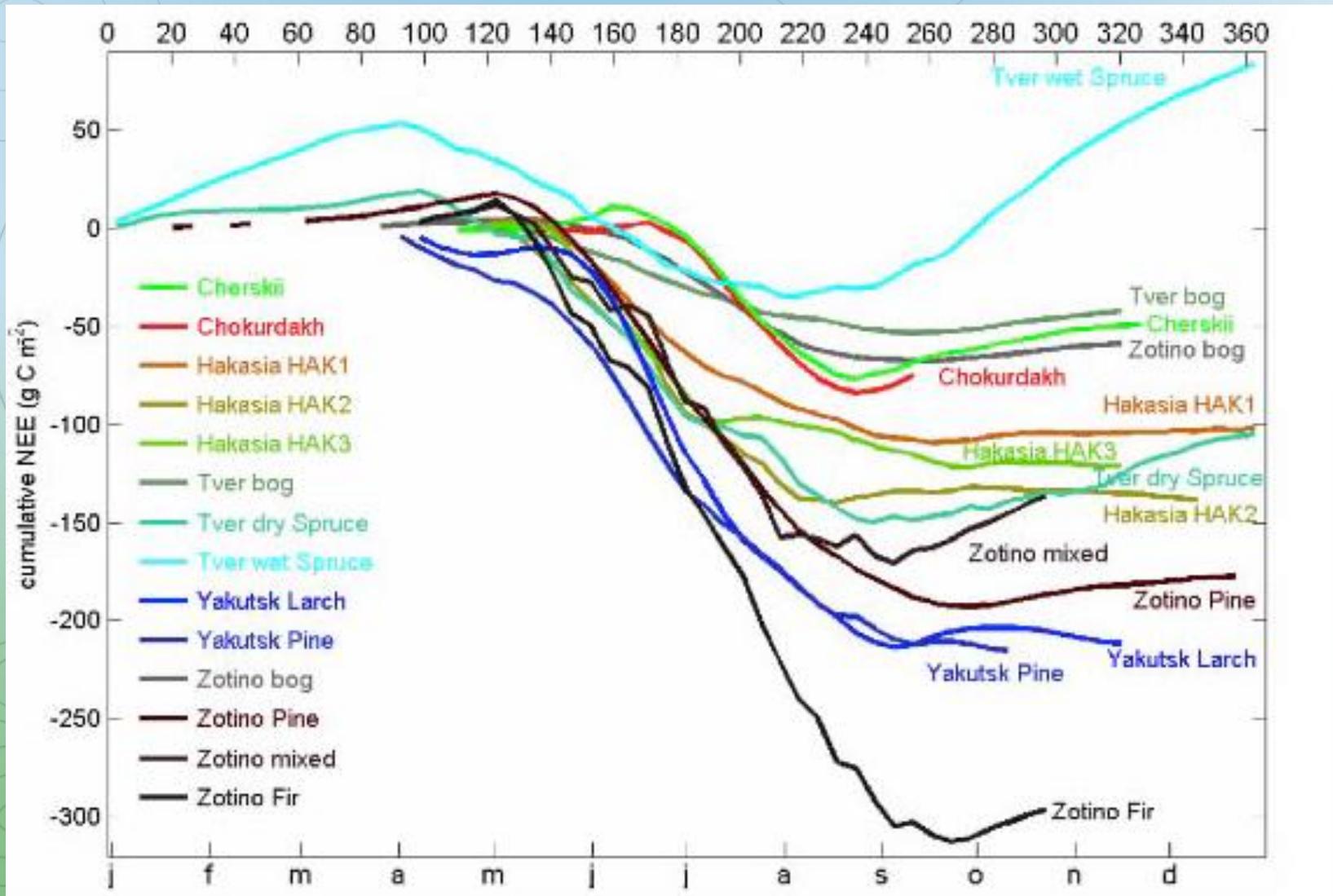
Without marks | – our data

<sup>a</sup>Schimel et al. (2001), Goodale et al. (2002)

<sup>b</sup>Kudeyarov et al. (1995)

Maximov T.C. (2007) Circulation of carbon in Larch forests of Yakutian sector of cryolithozone. YSC Publishing house, Yakutsk, p. 46

# Dolman et al., 2012: площадные оценки



A. J. Dolman et al. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, EC and inversion methods, 2012, Biogeosciences, 9, 5323–5340

# Dolman et al., 2012: площадные оценки

- 9 типов поверхности: 1) тундры 2) болота 3) травянистые сообщества 4) агроценозы 5) лиственничники 6) сосняки 7) ельники 8) пихтарники 9) смешанные и другие леса. Для каждого типа поверхности - оценка *NEE* по наблюдениям на станциях по МТП;
- 14 (!! ) станций измерений: 1–2 станции на каждый тип пов-ти
- для лесов - поправка на средний возраст лесообразующей породы

«We realize that estimating the sink of the Russian biosphere from 14 eddy covariance sites is a rather grand assumption that should be treated with caution».

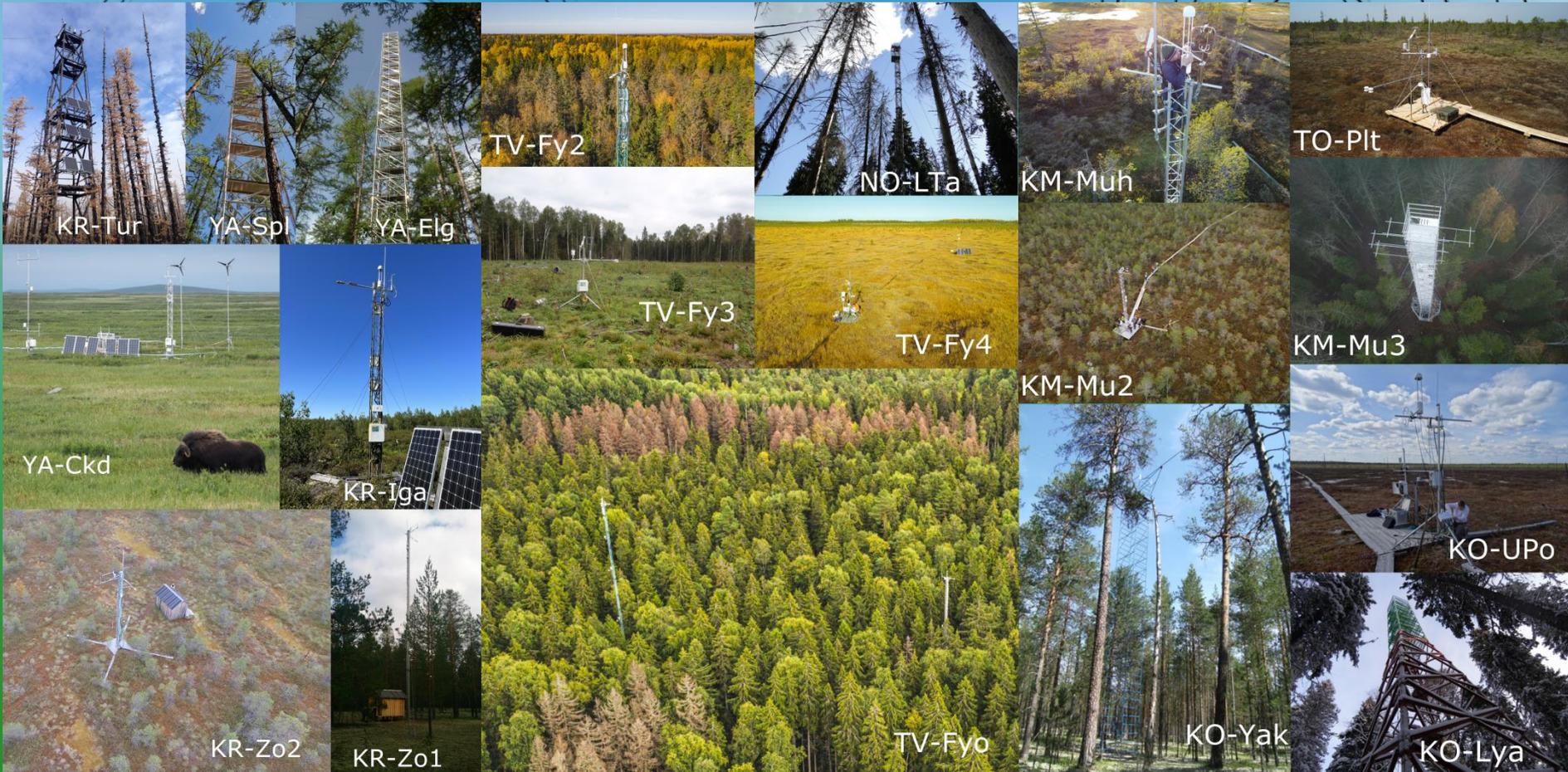
- С точки зрения поглощения ПГ выделено три групп экосистем: **болота (аккумуляция от 50 до 90 г С/м<sup>2</sup>·год); травянистые сообщества (125 – 170 г С/м<sup>2</sup>·год)** и леса, в которых баланс углерода изменялся в широких пределах. В **7 лесных экосистемах** нетто-поглощение варьировало от **0 до 300 г С/м<sup>2</sup>·год** (Dolman et al., 2012).

A. J. Dolman et al. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, EC and inversion methods, 2012, Biogeosciences, 9, 5323–5340

# Заключение

- сеть RuFlux: >190 станций-лет на 18 действующих станциях, в основном средняя+южная тайга и леса+болота. Перспективы включения: карбоновые полигоны; станции, ранее обслуживаемые зарубежными коллегами; станции не в RuFlux
- среднее многолетнее нетто-поглощение CO<sub>2</sub> выше в мерзлотных лиственничниках Сибири, чем в ельниках ЕТР
- ельники (тем более ENF): нельзя считать единым объектом – крайняя вариабельность годовых сумм даже в ненарушенных экосистемах; *нужно сравнение со станциями Европы*
- болота: устойчивый сток средних размеров, кроме отдельных лет (сухих и жарких условий в отдельные месяцы или сезон)
- лиственничники в отсутствие нарушений: устойчивый сток, и чем южнее, тем больше
- нарушения: смещают потоки в сторону источников. Наиболее резкое смещение характерно для антропогенных нарушений

# Спасибо за внимание!



# Карта растительности для площадных оценок



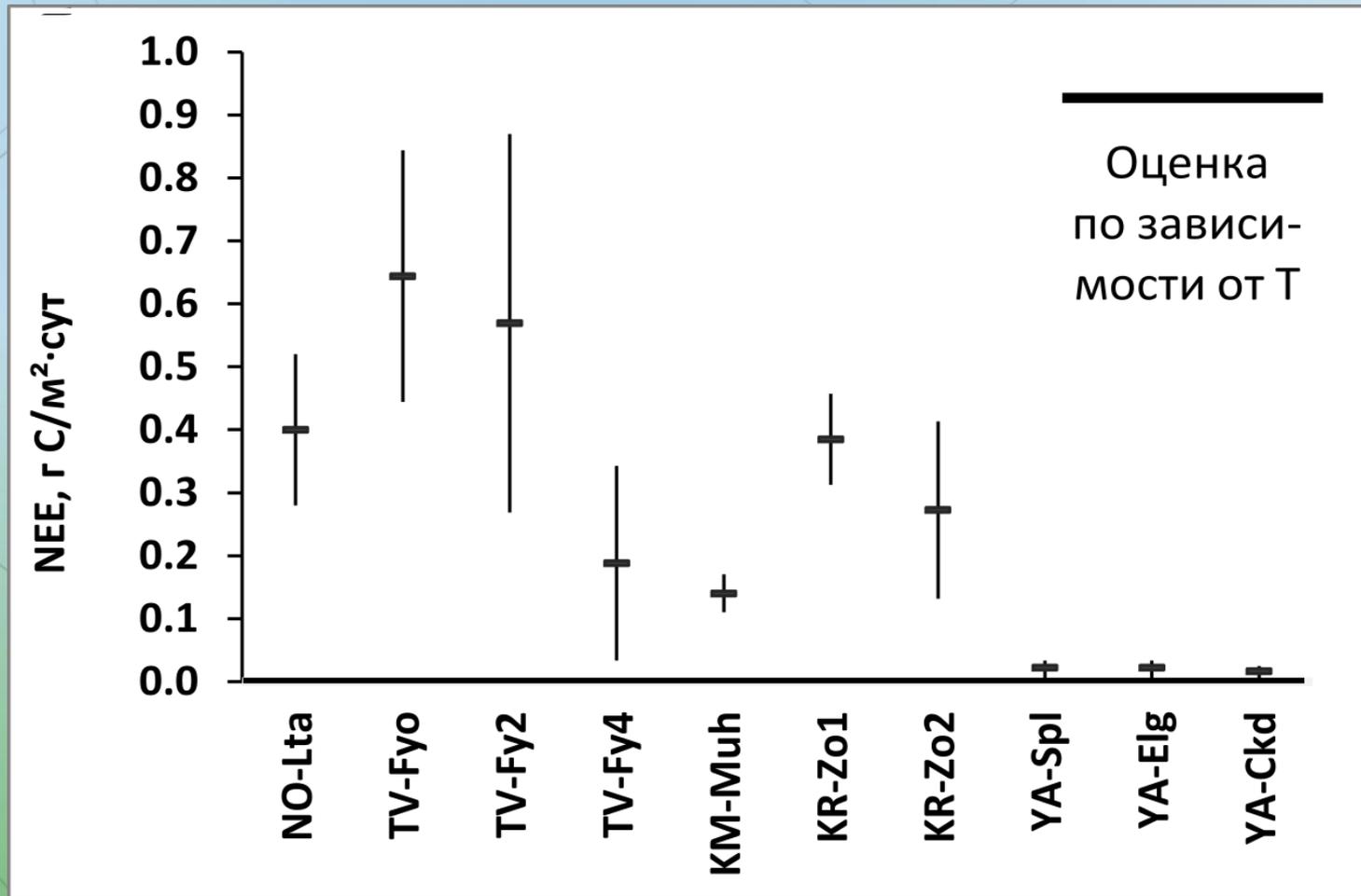
Сосна    Лиственница    Hardwood forest    Редколесье    Болото    Травы, кустарники  
Ель и пихта    Кедр    Береза и осина    Другое    Сгоревший лес    Поля    Вода

Schepaschenko et al., 2011. A new hybrid land cover dataset for Russia: a methodology for integrating statistics, remote sensing and in situ information, *Journal of Land Use Science*, 6(4), 245-259

# Вьетнам. Непрерывные измерения с ноября 2011 г.



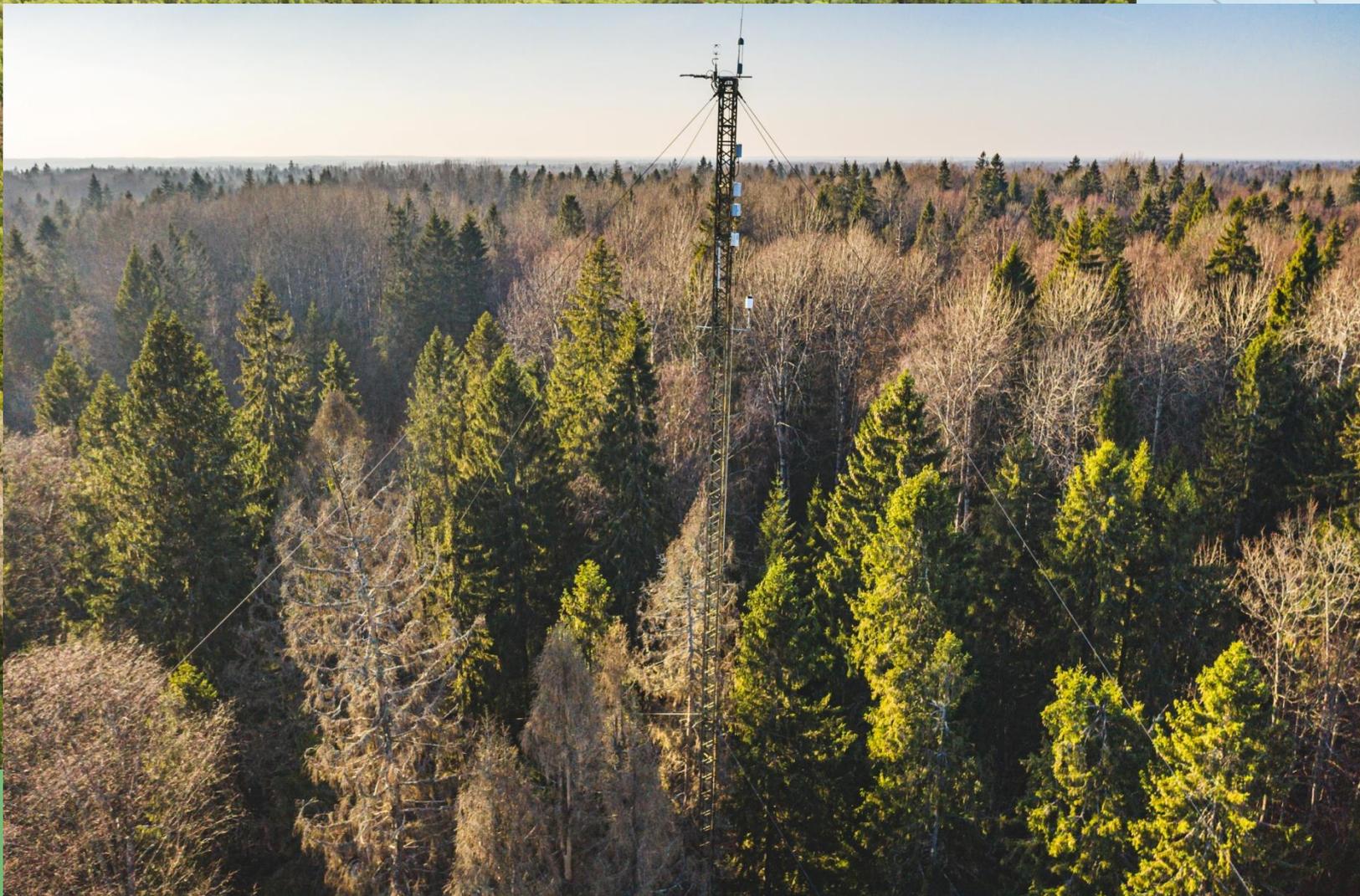
# Суточные суммы чистого экос. обмена в январе



1. Зимнее дыхание: насколько доверяем?

2.  $NEE$  с октября по апрель на YA-Spl: 20 г C/m<sup>2</sup>·сезон (Dolman et al., 2004) или 35 г C/m<sup>2</sup>·сезон (Takata et al., 2017) из-за очень низких зимних  $T$  - на YA-Ckd с окт по май 5 г C/m<sup>2</sup>·сезон (van der Molen et al., 2007)

# Ельники Тверской обл. (TV-Fy0, TV-Fy2)



# Нарушения ельников

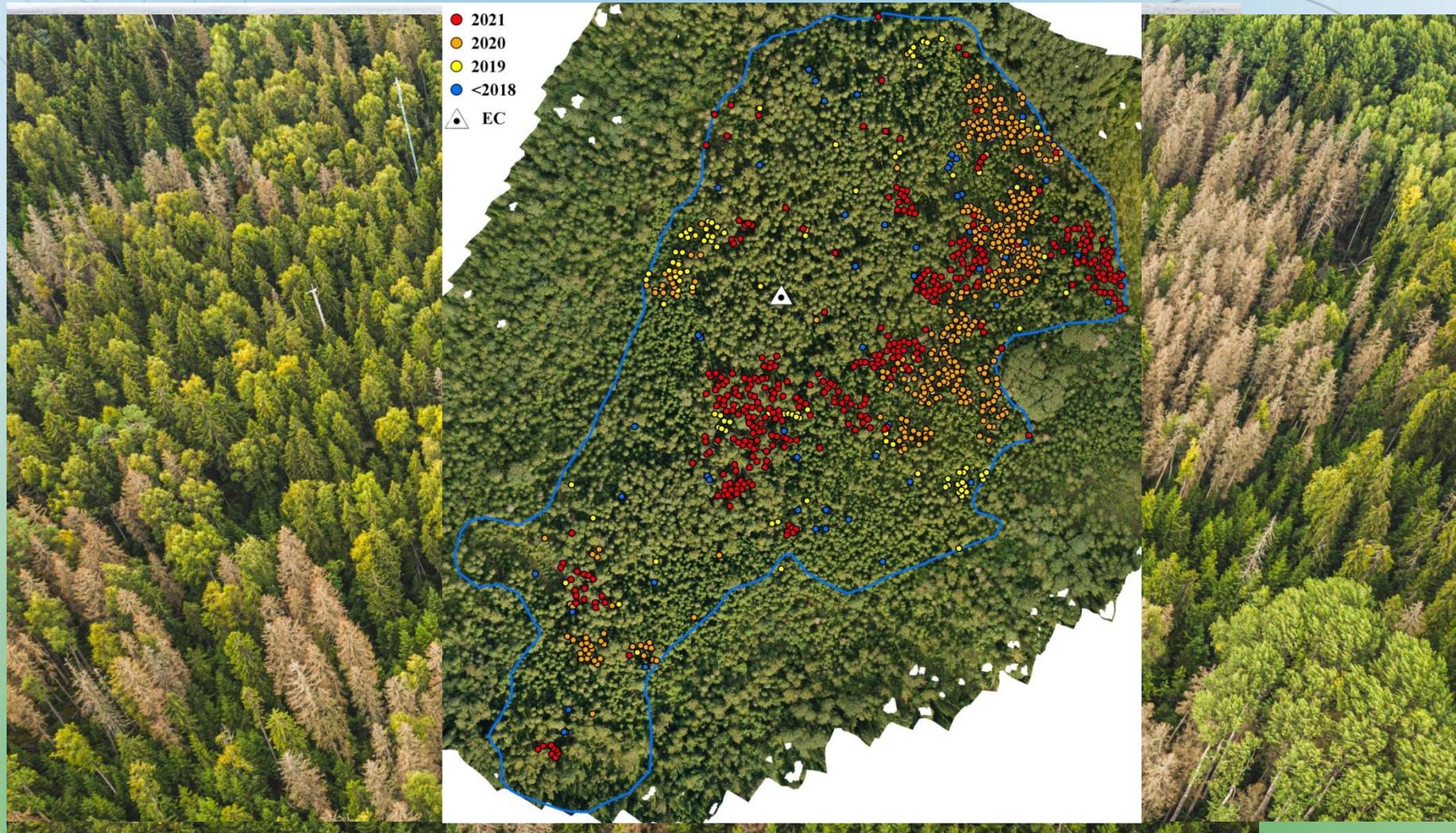


# Парадоксальные долгосрочные тренды NEE ельников Тверской обл.

ИСТОЧ-  
НИК



# Нарушения в заболоченном ельнике TV-Fyо

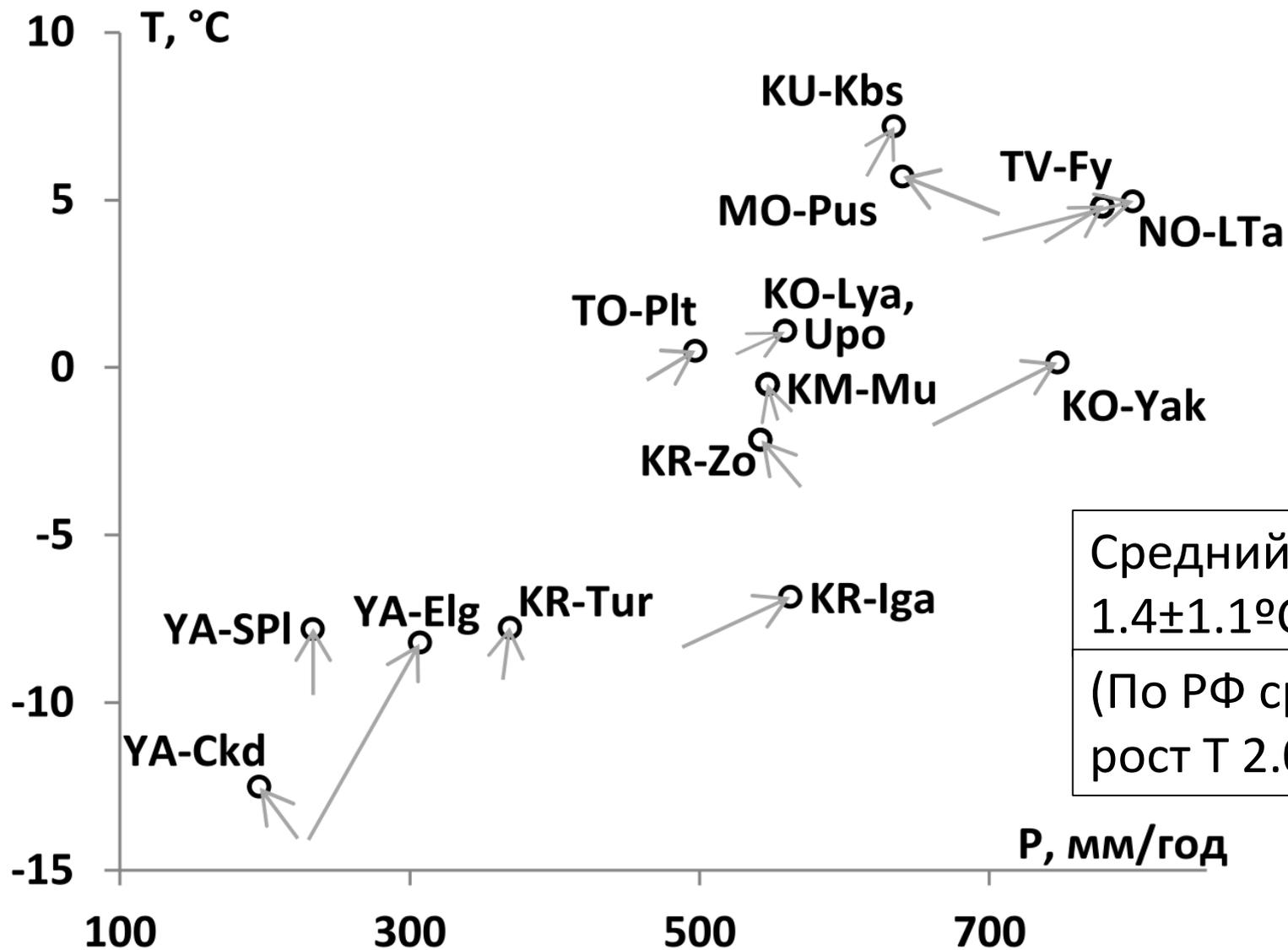


**Очаги усыхания появились после 2018 г.**

# Локальные сети



# Изменения климата



Средний рост T  
 $1.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$

(По РФ средний  
рост T  $2.0^\circ\text{C}$ )

# Сокращение площадей еловых древостоев в Московской области

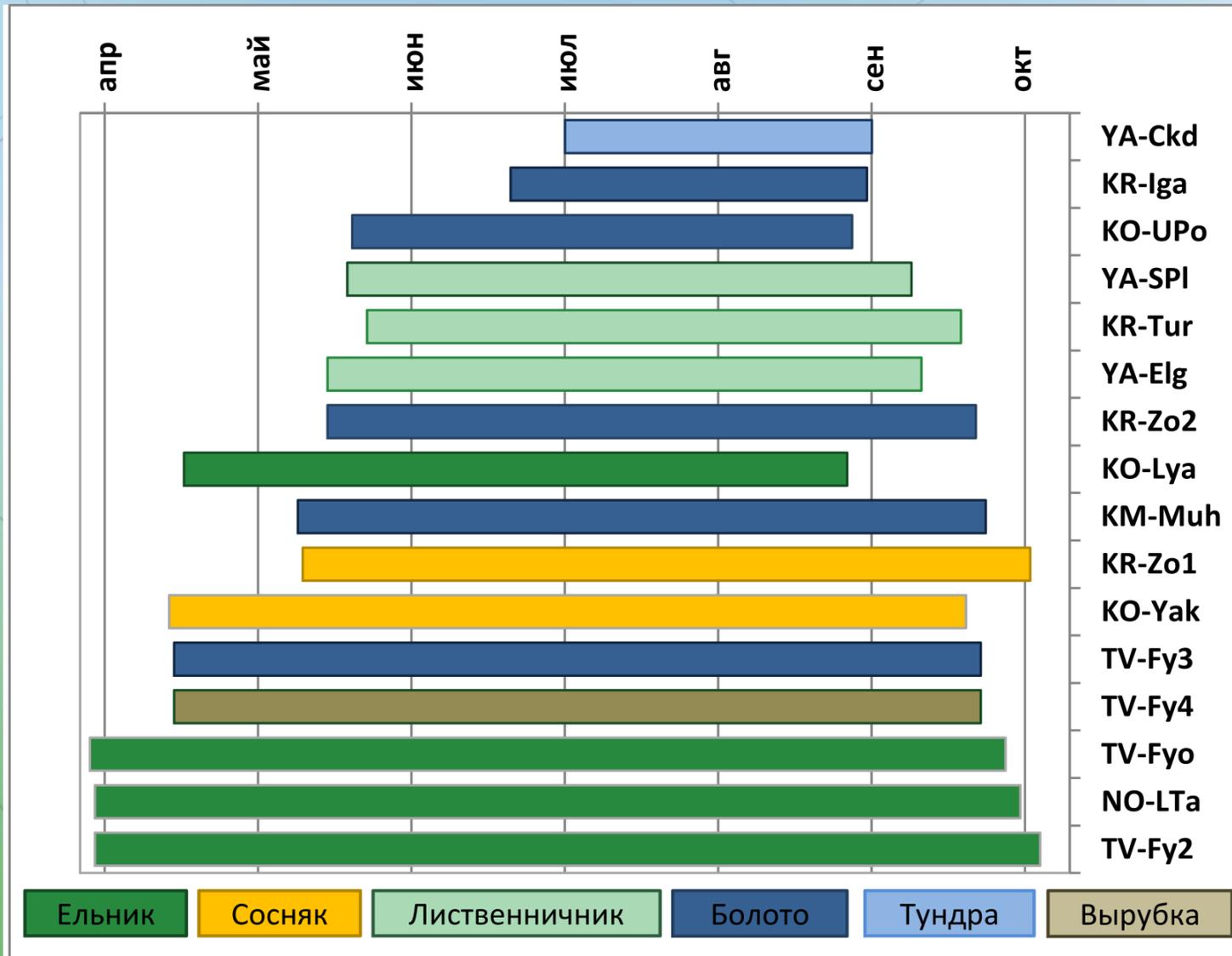
**Table 4.** Composition of coniferous formations in the periods 1990, 2010, and 2020, %.

Type of Forest	1990	2010	2020
Forest cover (our data)	56.85	55.87	48.57
Forest cover (Global Forest Watch)	n/a	52.75 <sup>1</sup>	48.57 <sup>2</sup>
Area of formations (% from forest cover according to our data)			
Spruce	19.61	14.21	7.04
Spruce–small-leaved	6.37	7.33	18.09
Pine–spruce	1.90	2.65	2.51
Pine	17.30	22.13	15.96
Deciduous forest	54.83	51.95	56.40

<sup>1</sup> Our results independent from Global forest watch (GFW). <sup>2</sup> GFW forest mask used in study for Forest formations in 2020.

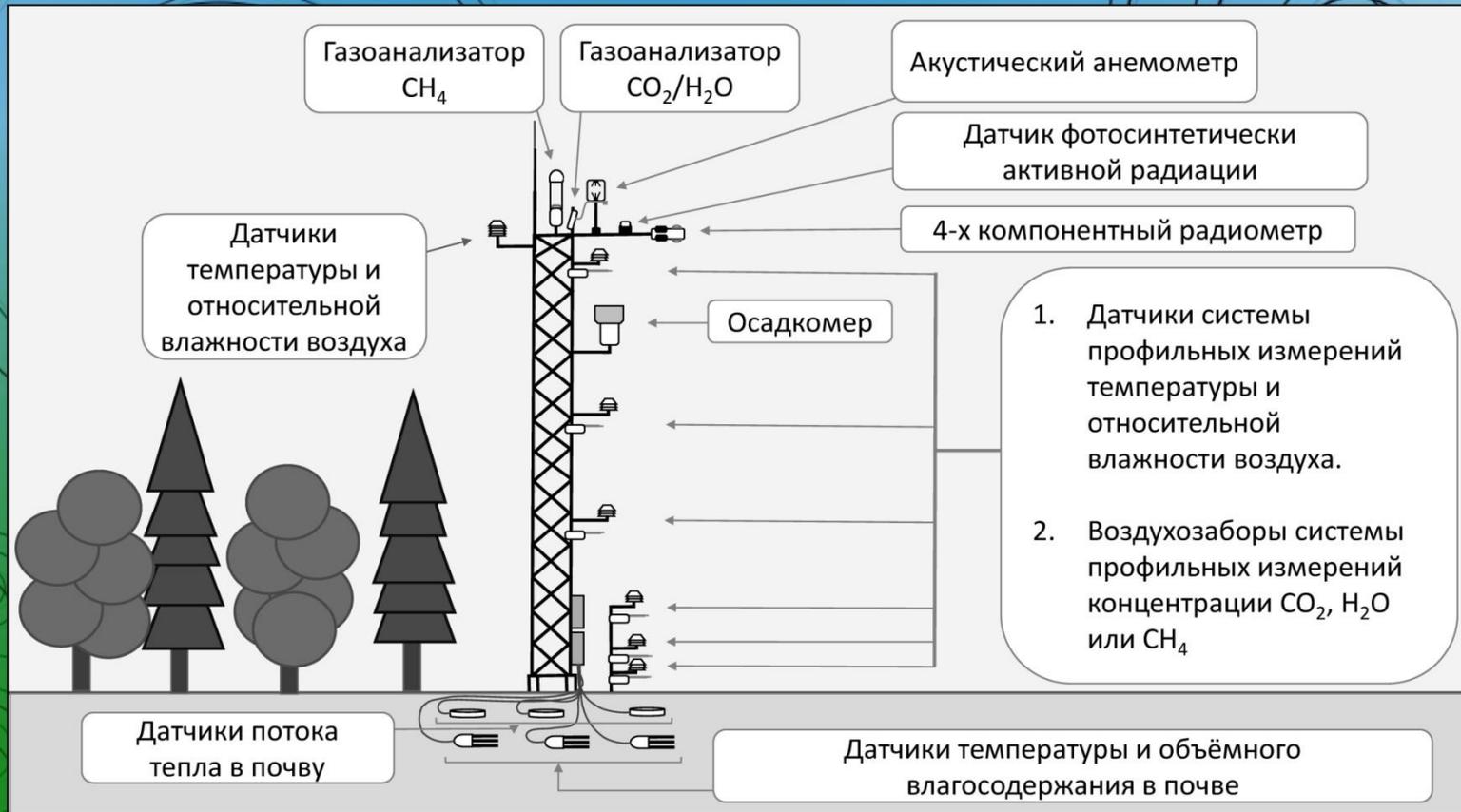
Chernenkova, T.; Kotlov, I.; Belyaeva, N.; Suslova, E. Spatiotemporal Modeling of Coniferous Forests Dynamics Along the Southern Edge of Their Range in the Central Russian Plain. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 1886.

# Продолжительность вегетационного сезона



Как определяем?

# Методика



# Обмен тепла, влаги, CO<sub>2</sub> экосистемы и атмосферы

## Обмен энергией



Радиационный баланс



Конвекция



## Водный обмен



Осадки



Транспирация и физическое испарение



## Обмен CO<sub>2</sub>

Валовая первичная продукция



Экосистемное дыхание



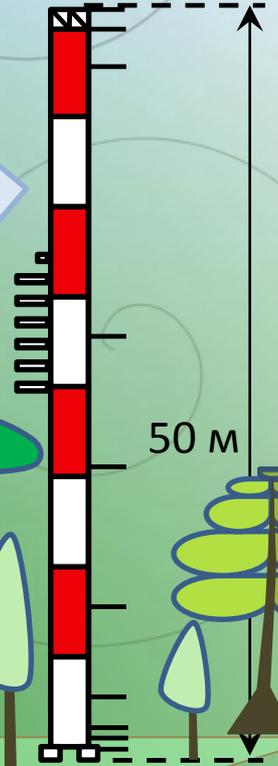
Чистый обмен



Ветер



50 м

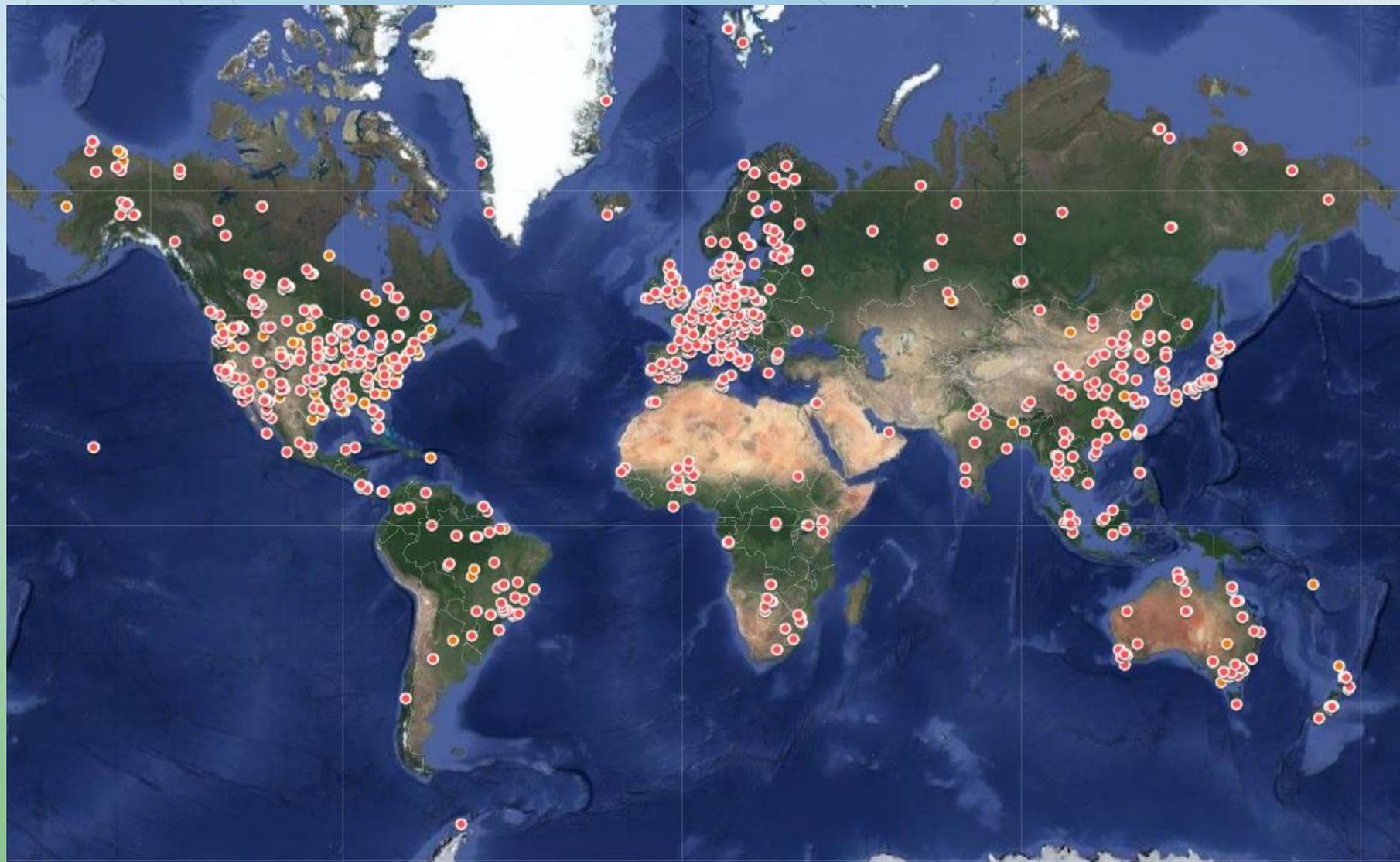


фотосинтез  
дыхание растений и почвы  
транспирация  
фильтрация влаги  
...

Речной сток



# Экоклиматические станции в мире - сеть FLUXNET



George Burba. Illustrative Maps of Past and Present Eddy Covariance Measurement Locations: I. Early 2019. FluxNet, Ameriflux, Asiaflux, CarboEurope, ICOS, OzFlux