

Эмиссия и баланс углерода в лесных экосистемах умеренной зоны в контексте современных климатических изменений

Курганова И.Н.

**Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, Пущино**

План лекции:

- ❖ Роль лесных экосистем РФ в глобальном цикле углерода;**
- ❖ Анализ современных климатических трендов в регионе южного Подмосковья;**
- ❖ Оценка эмиссии CO_2 из почв лесных экосистем (наземный мониторинг);**
- ❖ Определение чистой первичной продукции лесных экосистем (спутниковый мониторинг);**
- ❖ Оценка баланса углерода в лесных экосистемах южного Подмосковья и его взаимосвязь с климатом.**

Соотношение между источниками и стоками С в 2010-2019 гг.

Источники
Гт С/год

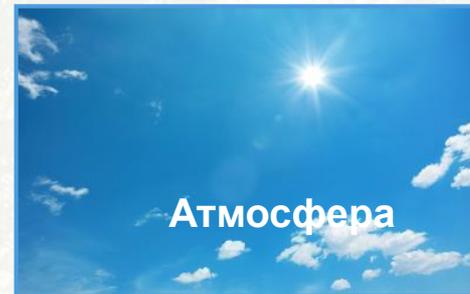
=

Стоки
Гт С/год

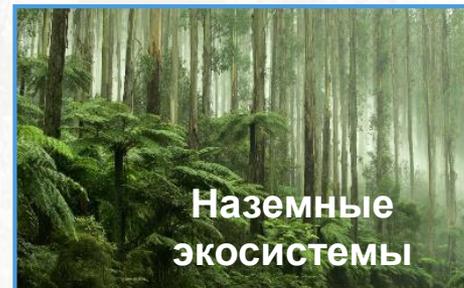


86%
9.4

46%
5.1

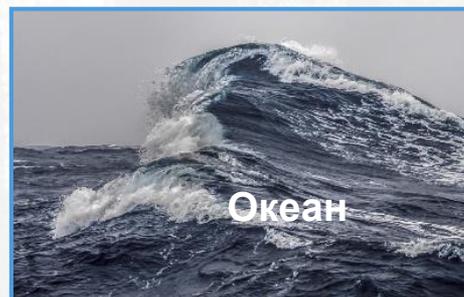


31%
3.4



14%
1.6

23%
2.5



Дисбаланс С: 0.05 Гт С/год (0.4%)

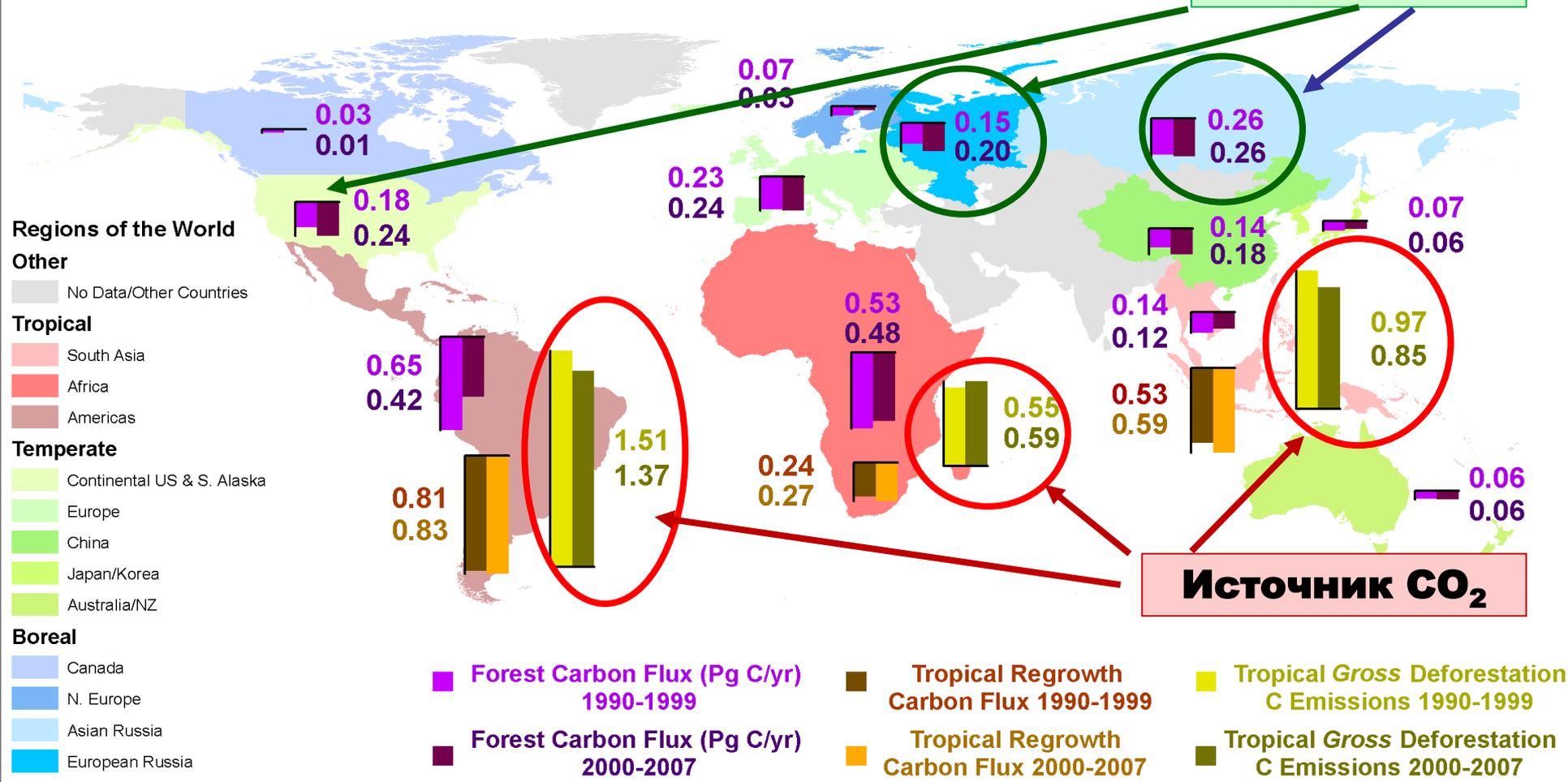
(разница между источниками и стоками)

Источник: *Global Carbon Budget 2020; Friedlingstein et al., 2020*

Глобальный сток С в лесные экосистемы

27% индустриальных выбросов CO₂

Сток CO₂



Источник: Pan et al., 2011 (Science)

Глобальный бюджет углерода в лесных экосистемах мира (Гт С/год)

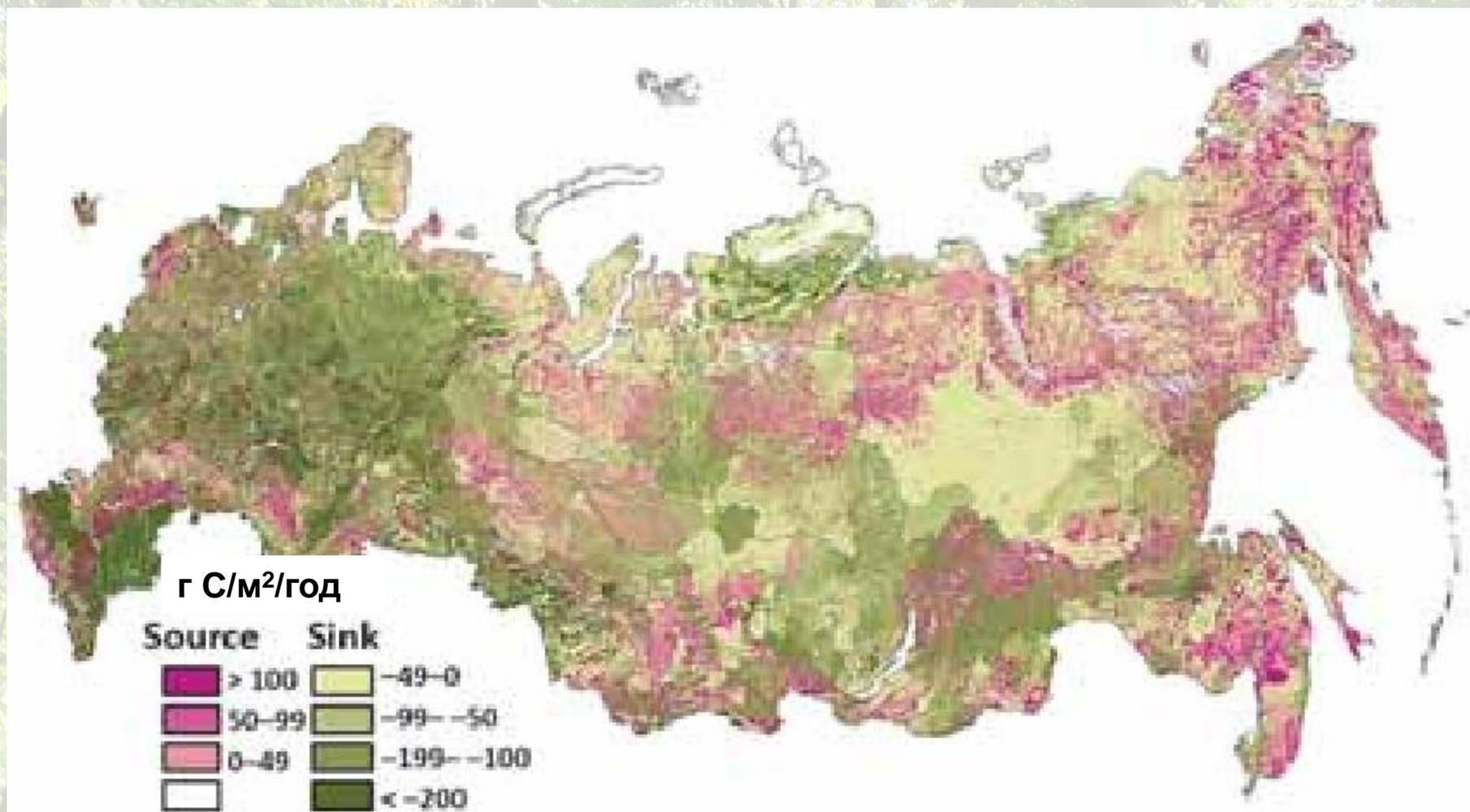
Регион	1990-1999	2000-2007	1990-2007
Бореальные леса	0.50±0.08	0.50±0.08	0.50±0.08
Умеренные леса	0.67±0.08	0.78±0.09	0.72±0.08
Нетронутые тропические леса	1.33±0.35	1.02±0.47	1.19±0.41
Лесные экосистемы мира	2.50±0.36	2.30±0.49	2.41±0.42
Россия (~20% всех лесов)	0.41	0.46	0.44 (18%)

Источник: Pan et al., 2011; Science

Сравнение оценок баланса углерода в наземных экосистемах России

Методологический подход	Баланс С, Гт С/год
Ландшафтно-экосистемный	0.76
На базе прямых измерений Eddy-covariance	0.71
Расчетный (12 моделей)	0.69
Средний баланс (сток) С = 0.72 Гт С/год	

Баланс углерода на территории России (2009 г.)

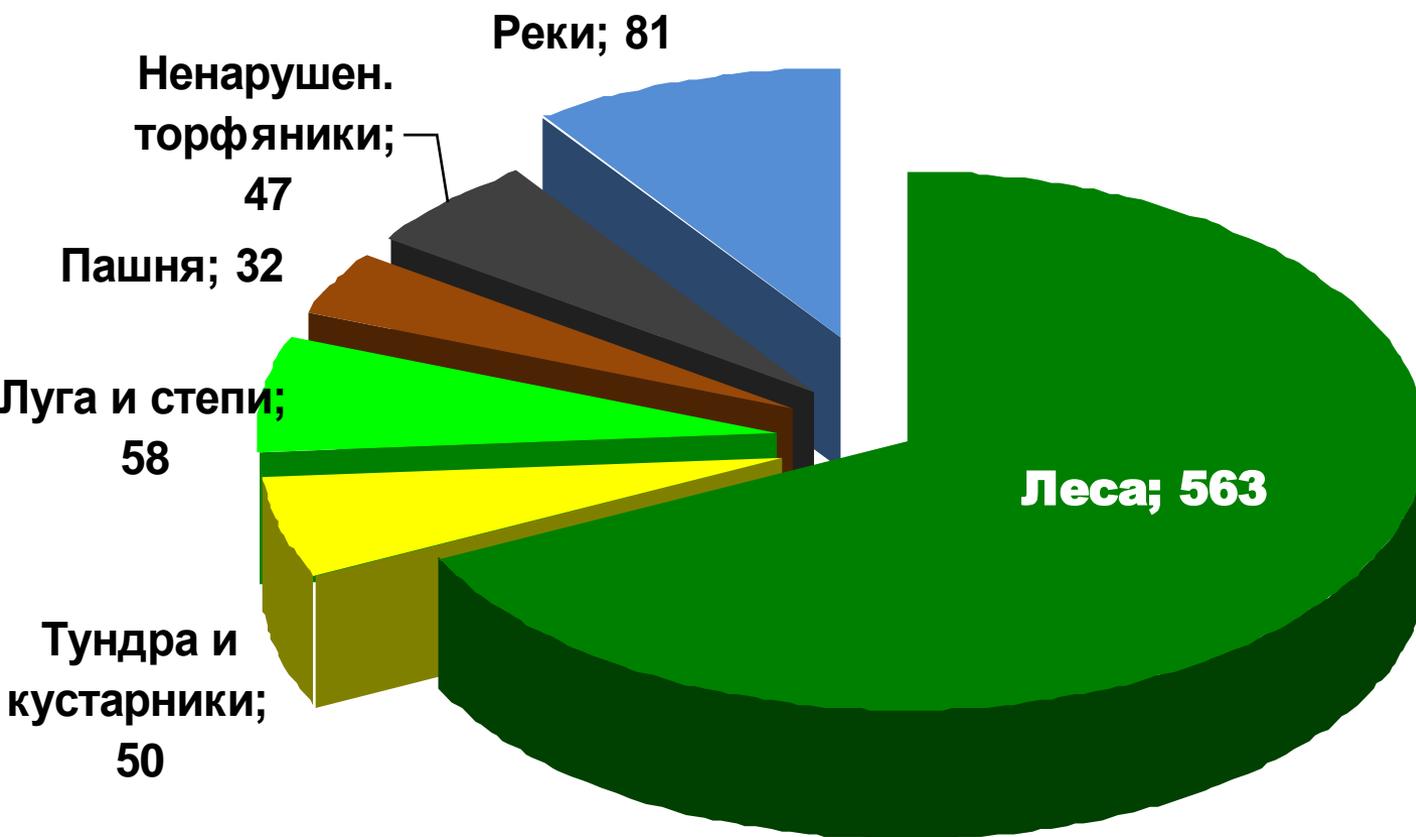


(Dolman et al., 2012)

Распределение стока углерода на территории России в 2001-2004 гг.

Мт С/год

%



Леса: 67.7%

Тундра и кустарники: 6.0%

Луга и степи: 7.0%

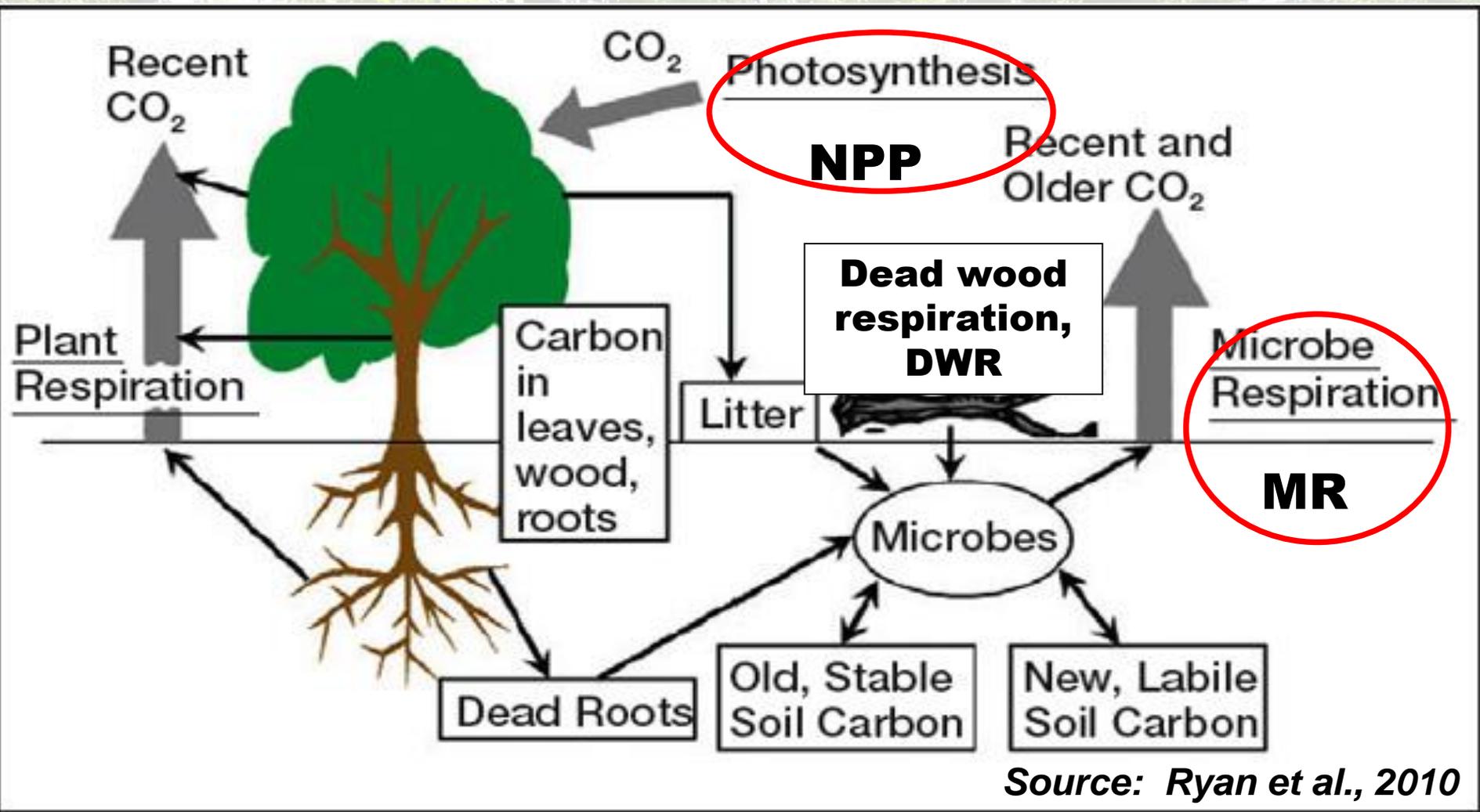
Пашня: 3.9%

Ненарушен. торф. : 5.7%

Реки: 9.7%

Общий сток: 831 Мт С/год

Баланс углерода в лесных экосистемах



$$\text{C-balance (NEP)} = \text{NPP} - [\text{MR} + \text{DWR}]$$

Оценка MR (дебатируется): 1/2 – 2/3 TSR ???

Регион исследований – южное Подмосковье:

Климат:

умеренно-континентальный



Регион: ЦФО Юг Подмосковья

Среднегод. Т: **+4.7°C** **+4.6°C**

Осадки: **625 мм/год** **671 мм/год**

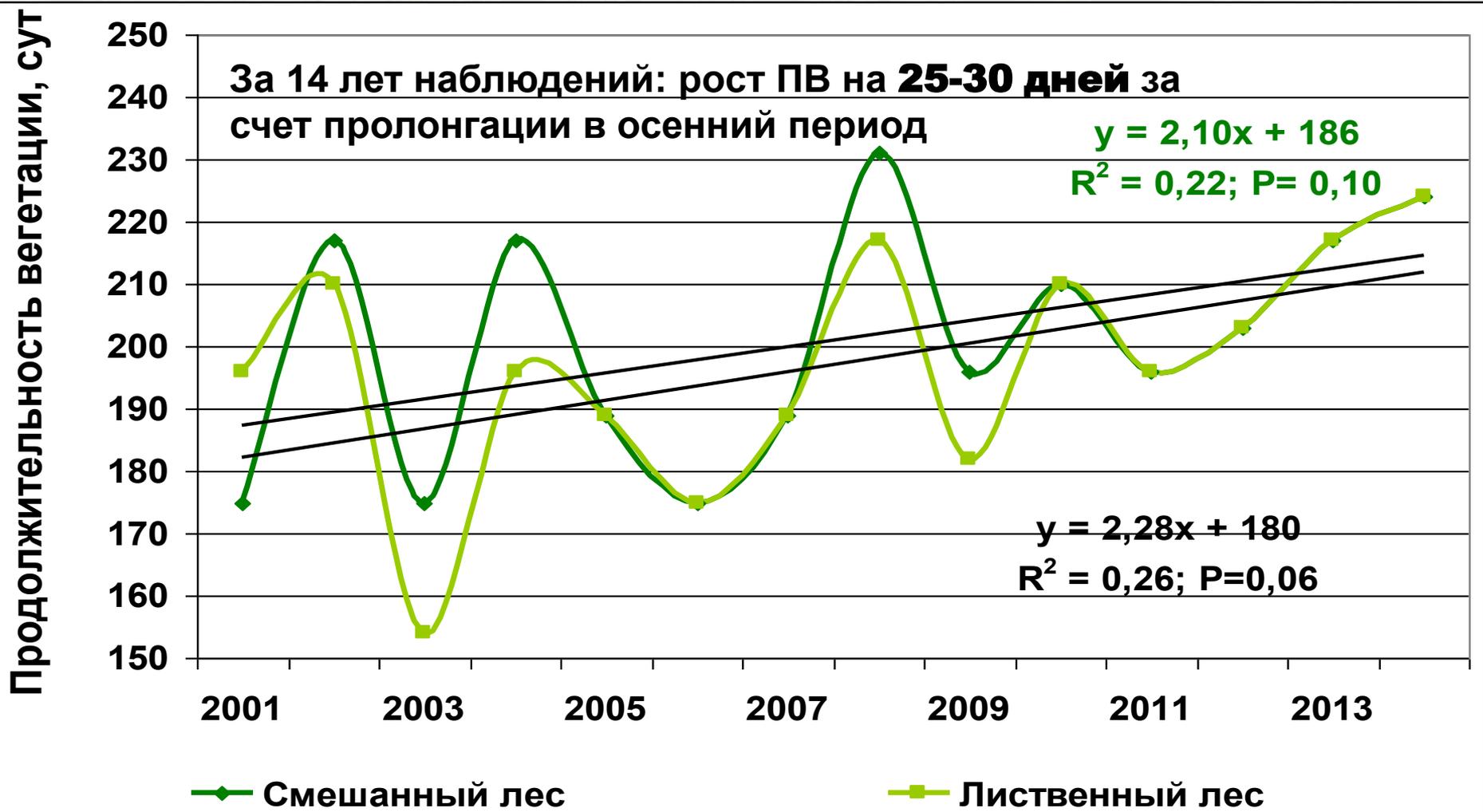
 Регион исследований ($54^{\circ}N$ $37^{\circ}E$)

Анализ климатических трендов в регионе южного Подмосковья

Параметр	Период	1973–2018 (46 лет)			1998–2018 (21 год)		
		a	R ²	P	a	R ²	P
T_в, °C	Год	0.42	0.29	<0.001	0.44	0.21	0.04
	Зима	0.54	0.08	0.05	0.57	0.02	ns
	Весна	0.32	0.09	0.04	0.58	0.10	ns
	Лето	0.53	0.28	<0.001	0.31	0.02	ns
	Осень	0.34	0.11	0.02	0.56	0.09	ns
∑ос, мм	Год	-22.5	0.07	ns	-43.6	0.05	ns
	Зима	-3.3	0.014	ns	-0.34	0.00	ns
	Весна	1.3	0.00	ns	11.7	0.02	ns
	Лето	-12.1	0.06	ns	-34.9	0.09	ns
	Осень	-8.7	0.05	ns	-21.5	0.05	ns
ГТК	Лето	-0.12	0.13	0.01	-0.25	0.11	ns
ПснП, число дней	Зима	-2.4	0.02	ns	-17.8	0.22	0.03

(Kurganova et al., 2021)

Изменение продолжительности вегетации в 2001-2014 (по значениям NDVI в лесных ценозах)



(Kurganova et al., 2017)

Лесные экосистемы

(1) Приокско-террасный заповедник

Смешанный лес >130 лет

(4СЗЛ2АsO1Б, Дуб – ед.)

**Дерново-подзолистая
супесчанная почва**



(2) Опытно-полевая станция ИФХиБПП

Вторичный лиственный лес

~70 лет; 5O3Л2К,

Дуб, Береза – ед.;

**Серая лесная суглинистая
почва**



Определение общего дыхания почв ($TSR = MR + RR$)



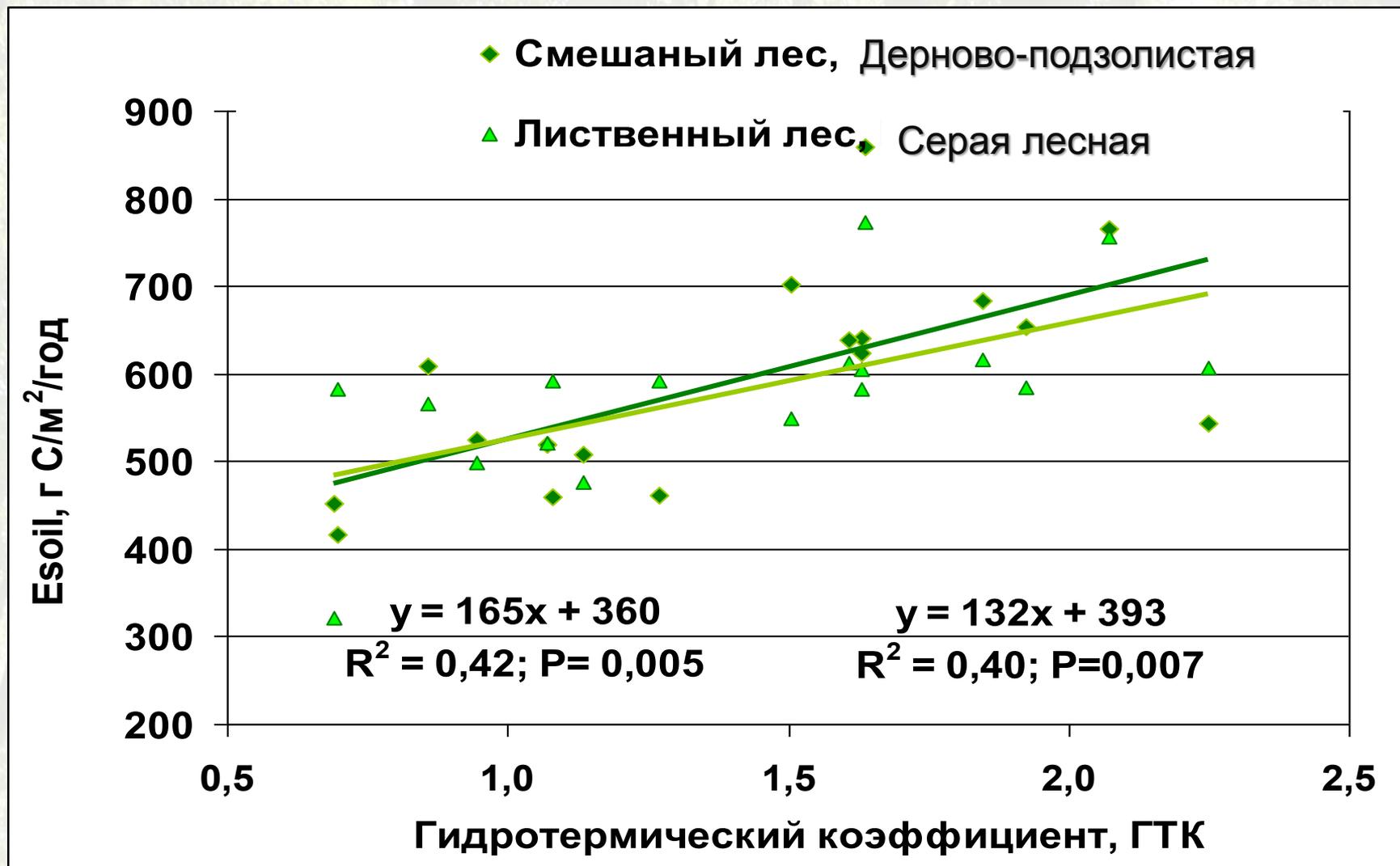
- **Закрытый камерный метод, измерения 3–5 раз в месяц;**
- **Начиная с 1998 (непрерывно и круглогодично)**
- **Дыхание почв оценивали на суточном, месячном, сезонном и годовом уровнях осреднения.**

Годовые потоки CO₂ из почв лесных ценозов: временные тренды за 1998-2014



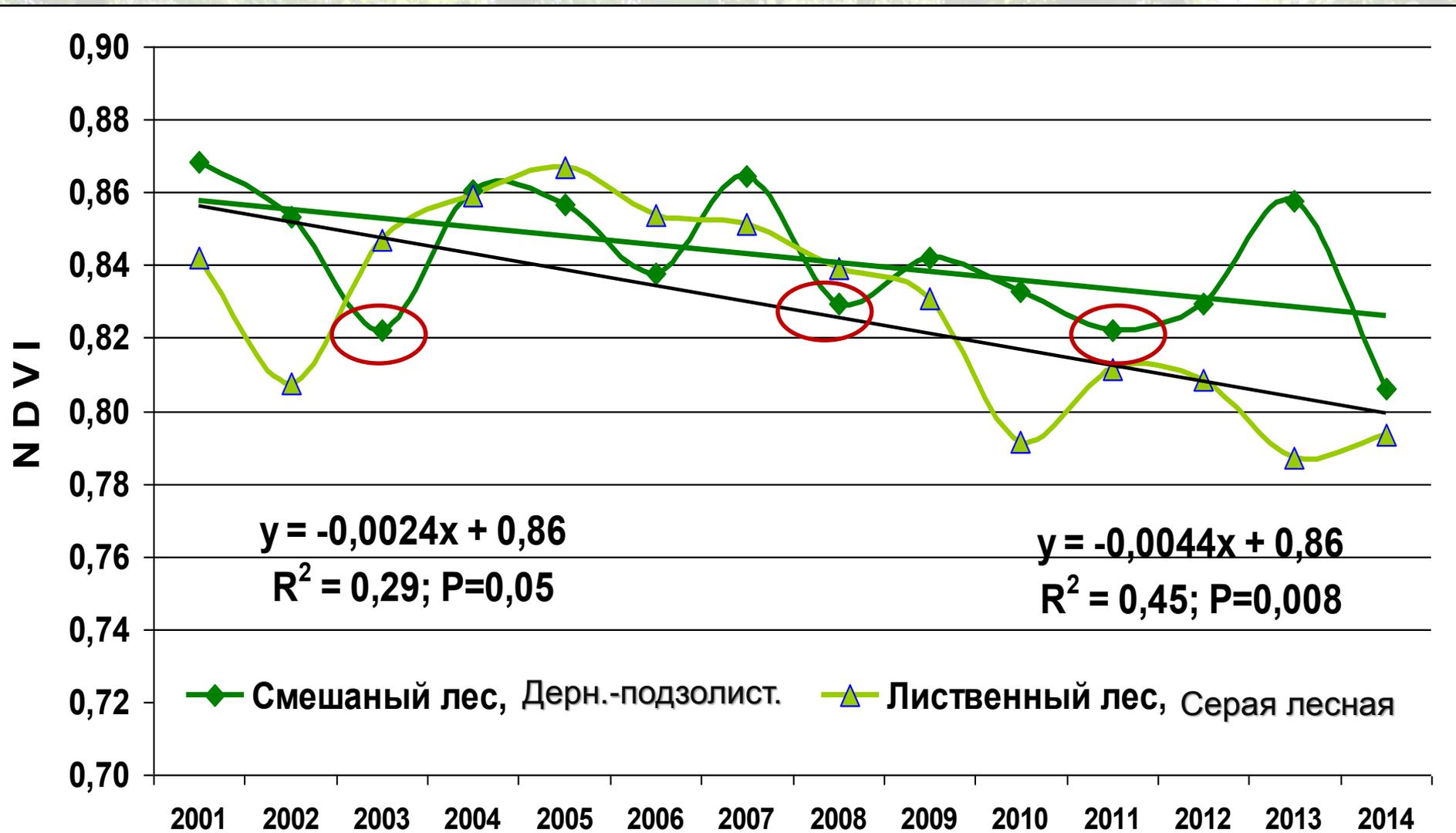
(Kurganova et al., 2017)

Зависимость между годовыми потоками CO₂ из почв (Esoil) и ГТК за летний период



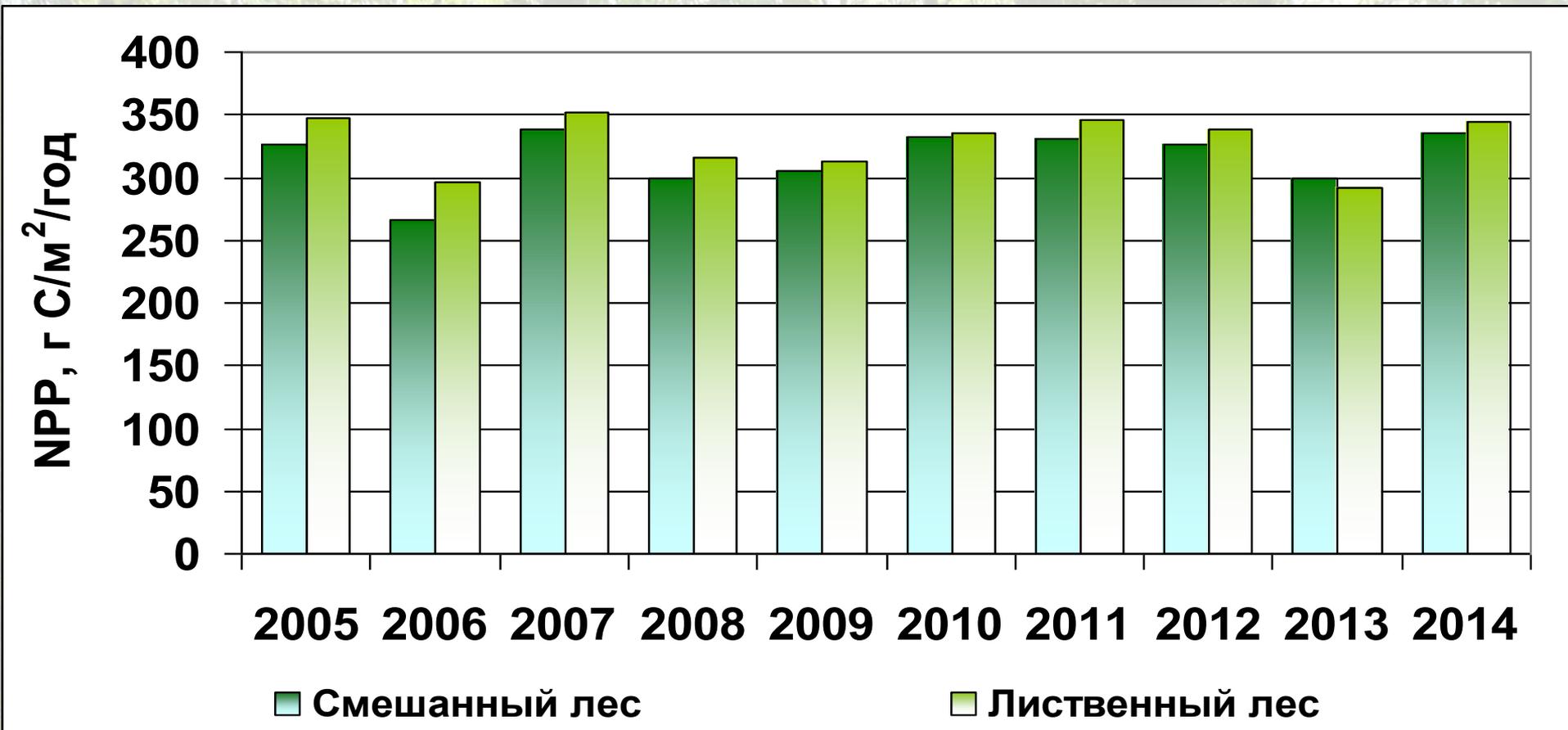
(Kurganova et al., 2017)

Временные тренды средне-летних значений NDVI в 2001-2014 гг.



(Kurganova et al., 2017)

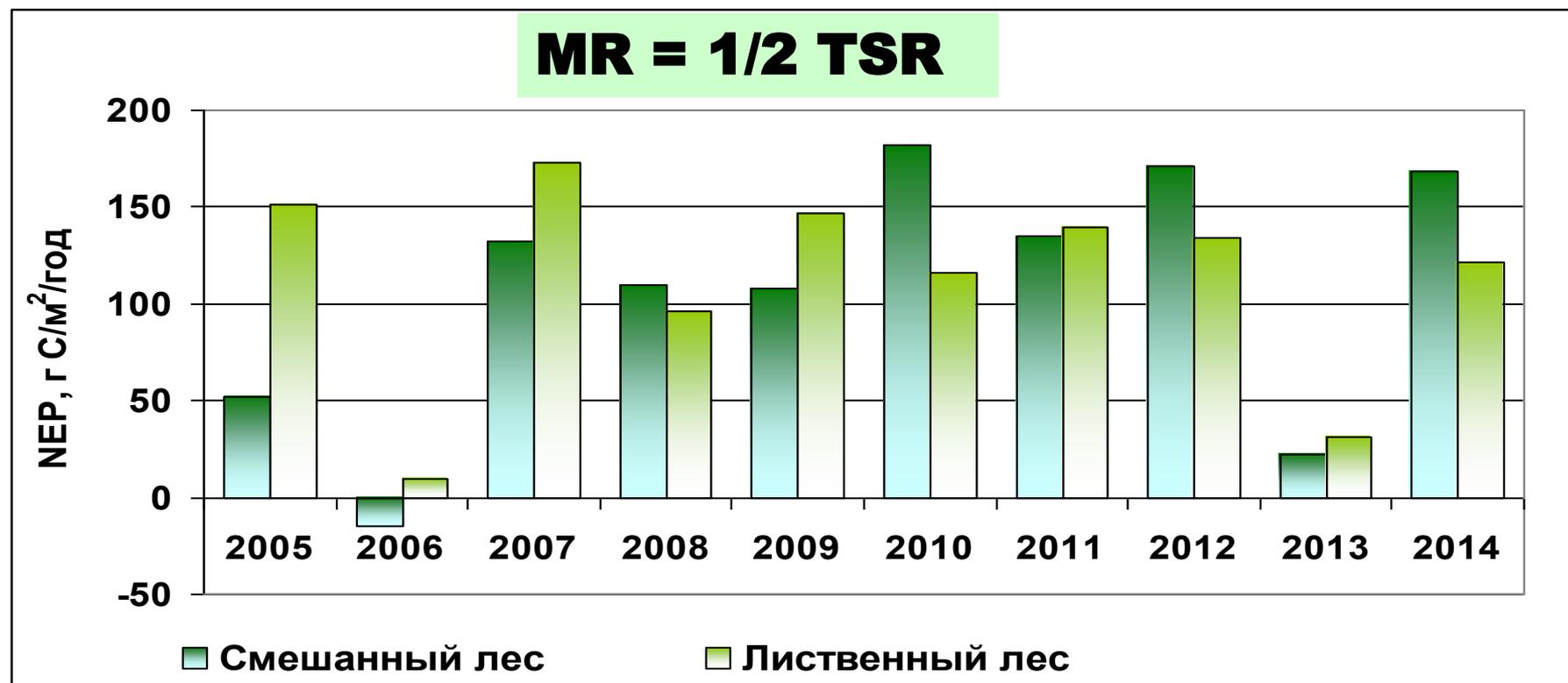
Динамика значений NPP в лесных ценозах в 2005-2014 гг.



NPP, г С/м²/год
Среднее **316**
Min-Max **266 - 339**

NPP, г С/м²/год
Среднее **328**
Min-Max **291 - 352**

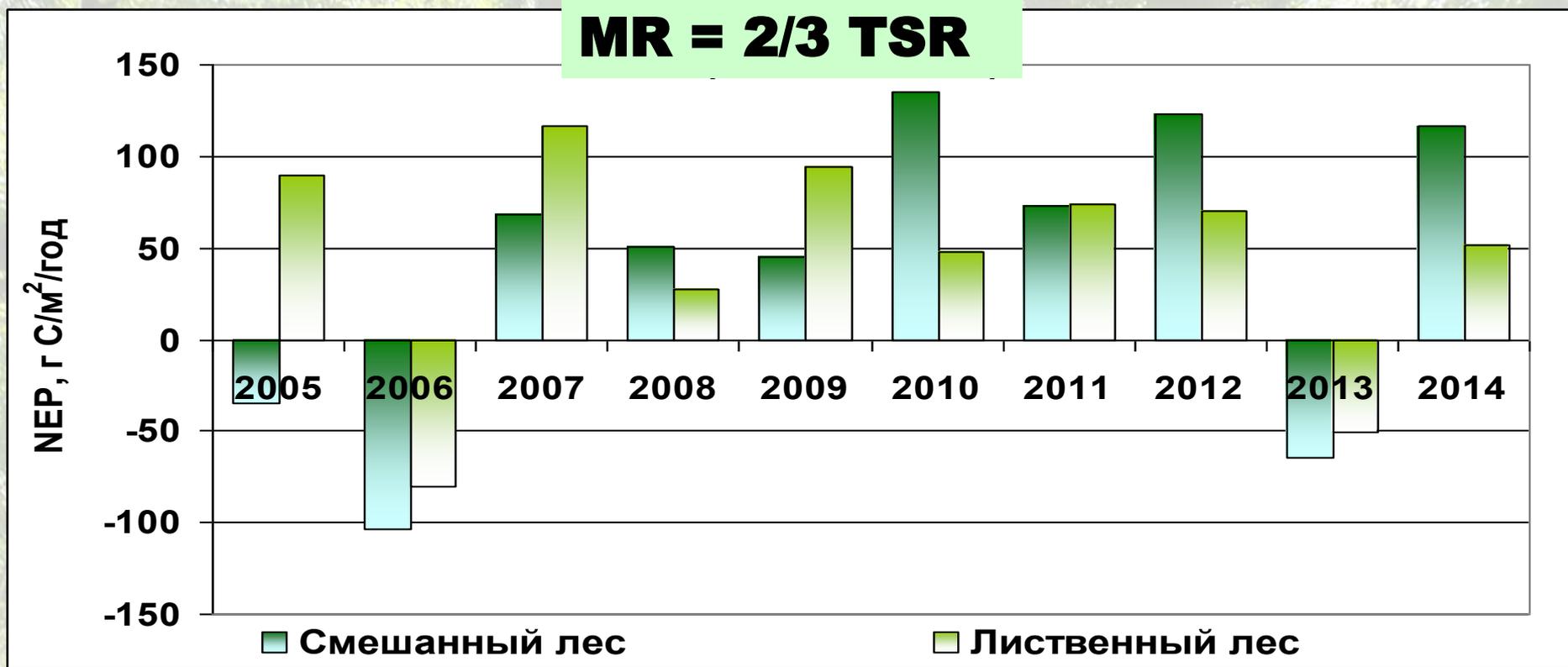
Баланс углерода в лесных ценозах в теплый период года ($NEP = NPP - MR_{warm}$)



NEP, г С/м²/год	Смешанный	Лиственный
min	-15	9
max	182	173
mean	107	112

(Kurganova et al., 2017)

Баланс углерода в теплый период года в лесных ценозах ($NEP = NPP - MR_{warm}$)



NEP, г C/m²/год

Смешанный

Лиственный

min

-103

-80

max

135

116

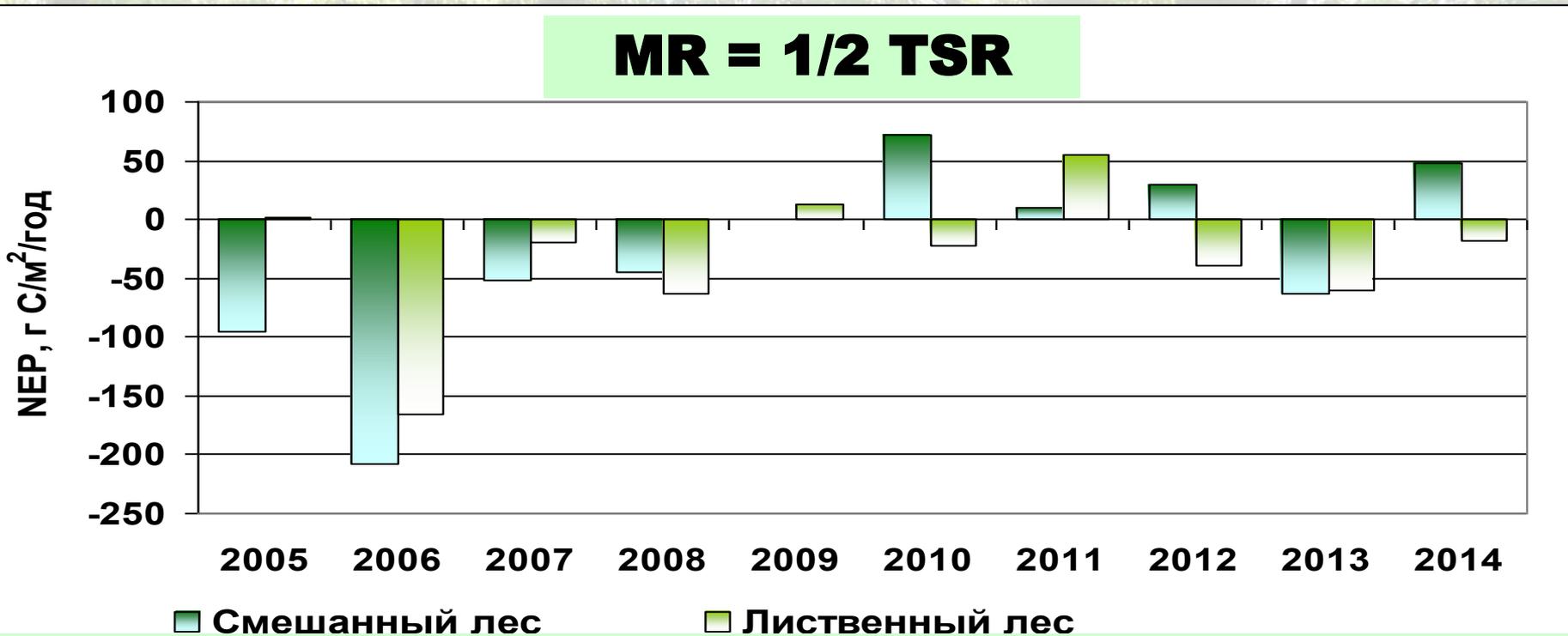
mean

41

44

Баланс углерода в лесных ценозах с учетом холодного периода

MR = 1/10 TSR для холодного сезона

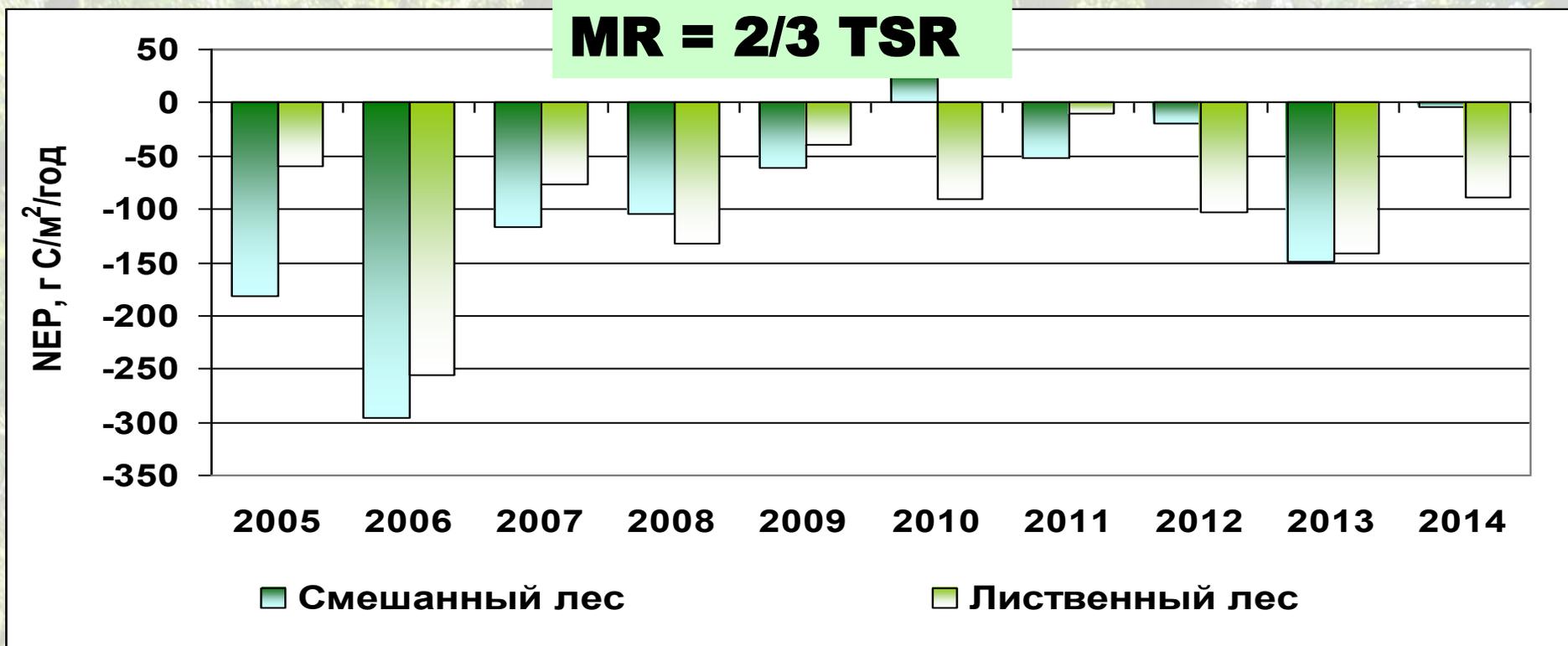


NEP, г C/м ² /год	Смешанный	Лиственный
Mean	-30	-32
Min	-208	-166
Max	72	55

(Kurganova et al., 2017)

Баланс углерода в лесных ценозах с учетом холодного периода

MR = 1/10 TSR для холодного сезона



NEP, г С/м²/год

Смешанный

Лиственный

Mean

-96

-100

Min

-296

-255

Max

25

-10

Линейные регрессионные модели для оценки баланса С (NEP) за годовой и вегетационный периоды в зависимости от значений летнего ГТК

Расчетный параметр	MR=1/2TE _{CO2}			MR=2/3TE _{CO2}		
	Уравнение	R ²	P	Уравнение	R ²	P
Смешанный лес, дерново-подзолистая почва						
NEP (год)	-111x + 118	0.50	0.02	-127x + 75	0.48	0.03
NEP (вегетац.)	-89x + 225	0.48	0.03	-106x + 181	0.44	0.04
Лиственный лес, серая лесная почва						
NEP (год)	-77x + 71	0.47	0.03	-66x + 199	0.42	0.04
NEP (вегетац.)	-90x + 20	0.47	0.03	-78x + 148	0.40	0.05

x – значения летнего ГТК; R² – коэффициент детерминации; P – уровень значимости (F-тест).

(Kurganova et al., 2017)

Потери C-CO₂ при разложении крупных древесных остатков в лесных БГЦ

по *k* минерализации

БГЦ	Запас КДО т С/га	K, год ⁻¹	Потери C-CO ₂ ,	
			г С/м ² /год	% от E _{soil}
Смешанный	20.6±2.7	0.038	79±14	13.9 ± 1.8
Лиственный	4.4±0.6	0.066	29±4	4.0 ± 0.7

Согласно нашим экспертным расчетам эмиссионная активность КДО составляла от 4 до 14% от общего потока CO₂ из почв, превращая старовозрастные лесные экосистемы южного Подмосковья в устойчивый источник CO₂ в атмосферу.

Прямые измерения баланса C в зрелом ельнике Тверской области показали, что он также являлся источником CO₂ со средней величиной, равной 156 ± 93 г С/м²/год (Kurbatova et al., 2013).

Выводы:

- В глобальном стоке углерода самая значительная роль (~ 70%) принадлежит лесным экосистемам. На долю лесов России приходится 18% поглощения CO₂ всеми лесами мира.**
- Смешанные и лиственные леса южного Подмосковья в вегетационный сезон выступают стоком углерода со средней величиной, варьирующей от 41 до 112 г С/м² в зависимости от доли, приходящейся на корневое дыхание.**
- С учетом эмиссии CO₂ из почв в холодный период года лесные ценозы с высокой долей вероятности функционируют как источник углекислого газа в атмосферу, достигая иногда весьма значительных величин (160 – 300 г С/м²/год).**

□ Изменчивость величины баланса углерода в лесных экосистемах южного Подмосковья на 40-50% объясняется степенью засушливости текущего летнего периода.

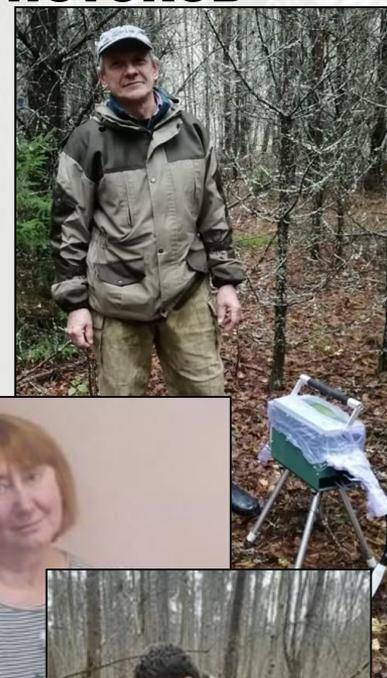
□ На стоковую функцию лесных экосистем влияют погодные условия предыдущего года исследований. Так, в смешанных старовозрастных лесах мы наблюдали снижение продукционной составляющей на следующий после засухи год, что косвенно может свидетельствовать об усилении стока в лесные экосистемы в засушливые годы.

□ Получение более обоснованных оценок роли лесов в качестве стока или источника CO_2 в атмосферу может и должно базироваться на применении современных прямых методов измерения (напр., eddy-covariance).

В исследовании принимали участие:

Сотрудники Лаборатории почвенных циклов азота и углерода ИФХиБПП РАН (Группа мониторинга потоков углерода):

внс., к.т.н. В.О. Лопес де Гереню



снс, к.б.н. Т.Н. Мякшина

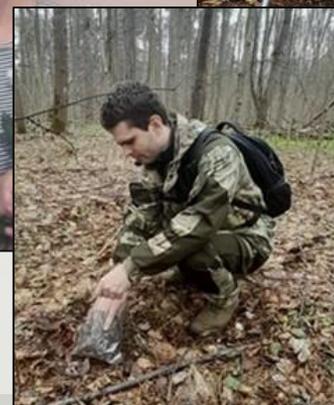
снс, к.б.н. Д.В. Сапронов



мнс, к.б.н. Д.А. Хорошаев



мнс В.А. Жмурин



Благодарности:

**к.б.н. В.А. Аблеева - Станция фонового мониторинга,
Приокско-террасный биосферный заповедник
(метеоданные)**

**Академик РАН, д.г.н. И.Ю. Савин – Почвенный Институт
им. В.В. Докучаева (данные NDVI)**

**к.г.н. С.С. Быховец - ИФХиБПП РАН (актинометрические
данные)**

В.В. Каганов – ЦЭПЛ РАН, данные учета валежа

**Многолетняя финансовая поддержка:
РФФИ и Программ Президиума РАН.**



**Спасибо за
внимание!**

Оценка NPP на основе вегетационного индекса NDVI

$$NPP = \varepsilon * \sum(NDVI * PAR)$$

Параметры:

ε (g C/MJ) - эффективность использования света растениями;

$\varepsilon = 0,283$ (Смешанный лес, Albeluvisols)

$\varepsilon = 0,302$ (Лиственный лес, Phaeozems)

Source: Dorman and Sellers (1989)

NDVI – вегетационный индекс (MODIS);

PAR \approx **0.5 IAR** (MJ/m²);

данные для Пущино за **2005-2014** гг, район
обсерватории (С. Быховец);