

БЮДЖЕТ УГЛЕРОДА В СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РОССИИ

Курганова И.Н., Голубятников Л.Л.,
Лопес де Гереню В.О.

*Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино
Институт физики атмосферы РАН, Москва*

План лекции

▶ Общая информация о степных экосистемах

(распространение степных биомов в Евразии, природно-климатические условия степной зоны России, широтно-зональные изменения биопродуктивности степей)

▶ Бюджет углерода в степных экосистемах России

(прямые измерения и разностный подход; оценка основных компонентов, формирующих баланс С; сравнительный анализ существующих оценок)

▶ Влияние землепользования на запасы углерода в почвах степей

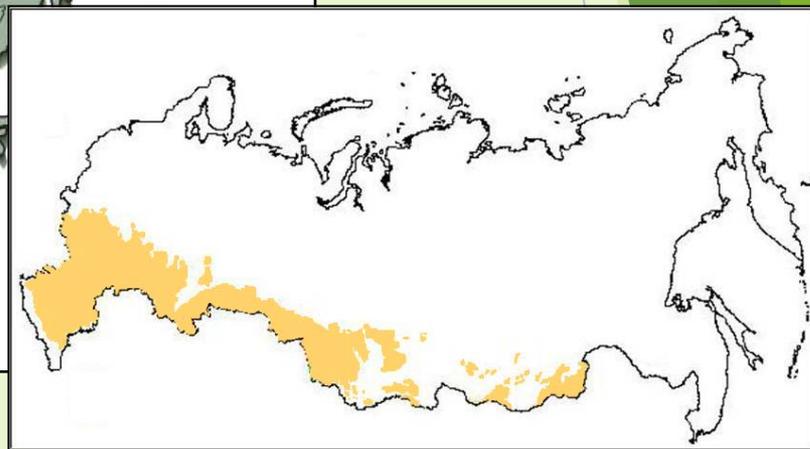
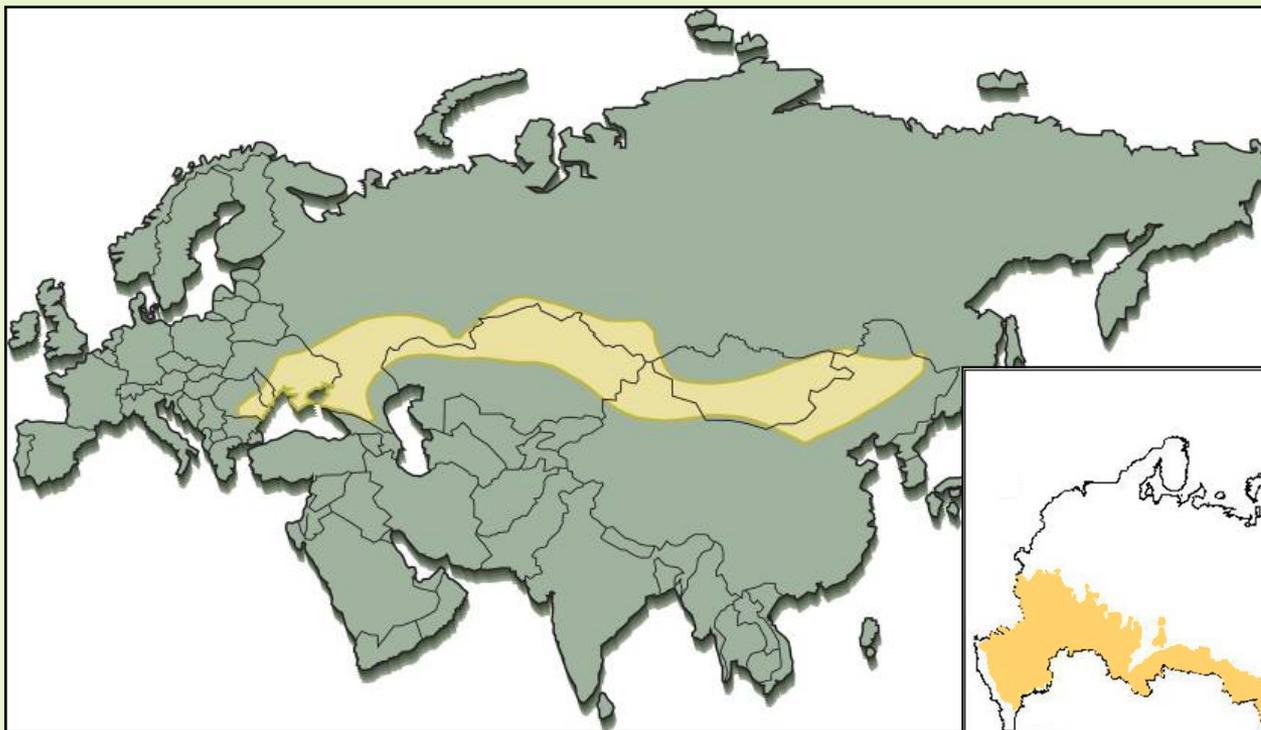
(освоение целины (1954-1963 гг.); забрасывание с/х угодий (1991- 2010 гг.) и современная «неоцелинная компания» (2005 - н.в.))

▶ Заключение

Определение понятия «Степь»

Согласно общепринятым понятиям в биоценологии, **СТЕПЬ** представляет собой «тип растительности, характеризующийся преобладанием ксероморфных видов с интенсивным укоренением злаков, не покрывающих поверхность почвы сплошь; в промежутках могут развиваться различные жизненные формы: однолетние, луковичные геофиты, многолетние травянистые двудольные, иногда полукустарники»

Степные экосистемы Северной Евразии



Степи Евразии ~800 млн га (Гаджиев и др., 2002)

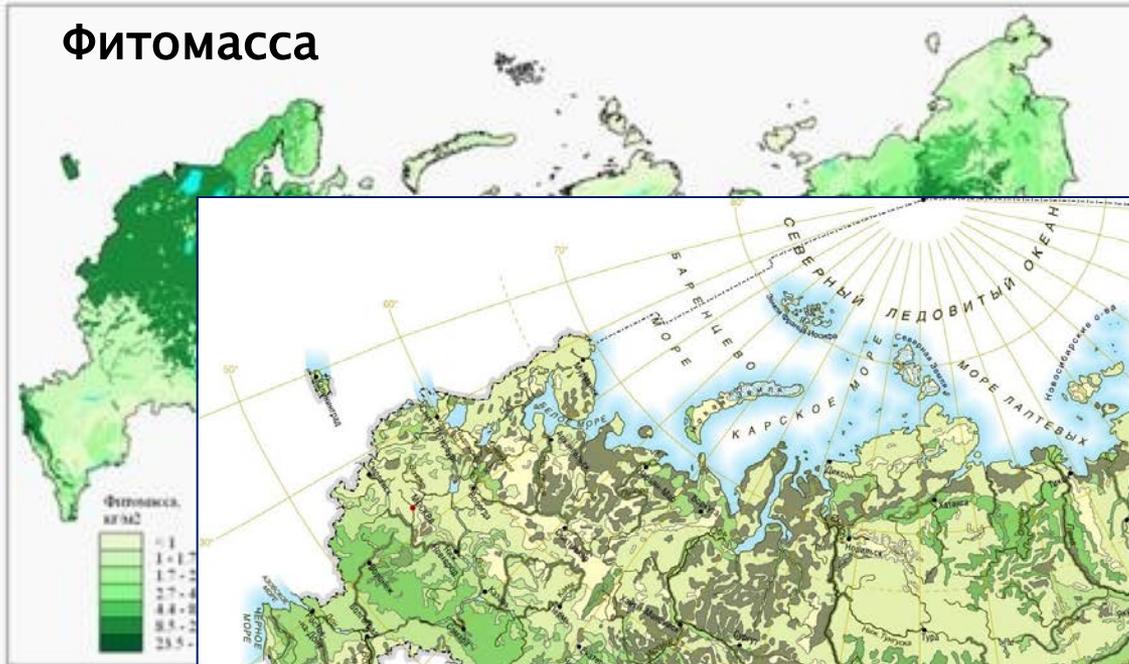
Степная зона РФ ~166 млн га (Smelansky, Tishkov, 2012)

естественные степи России ~ 22 млн га

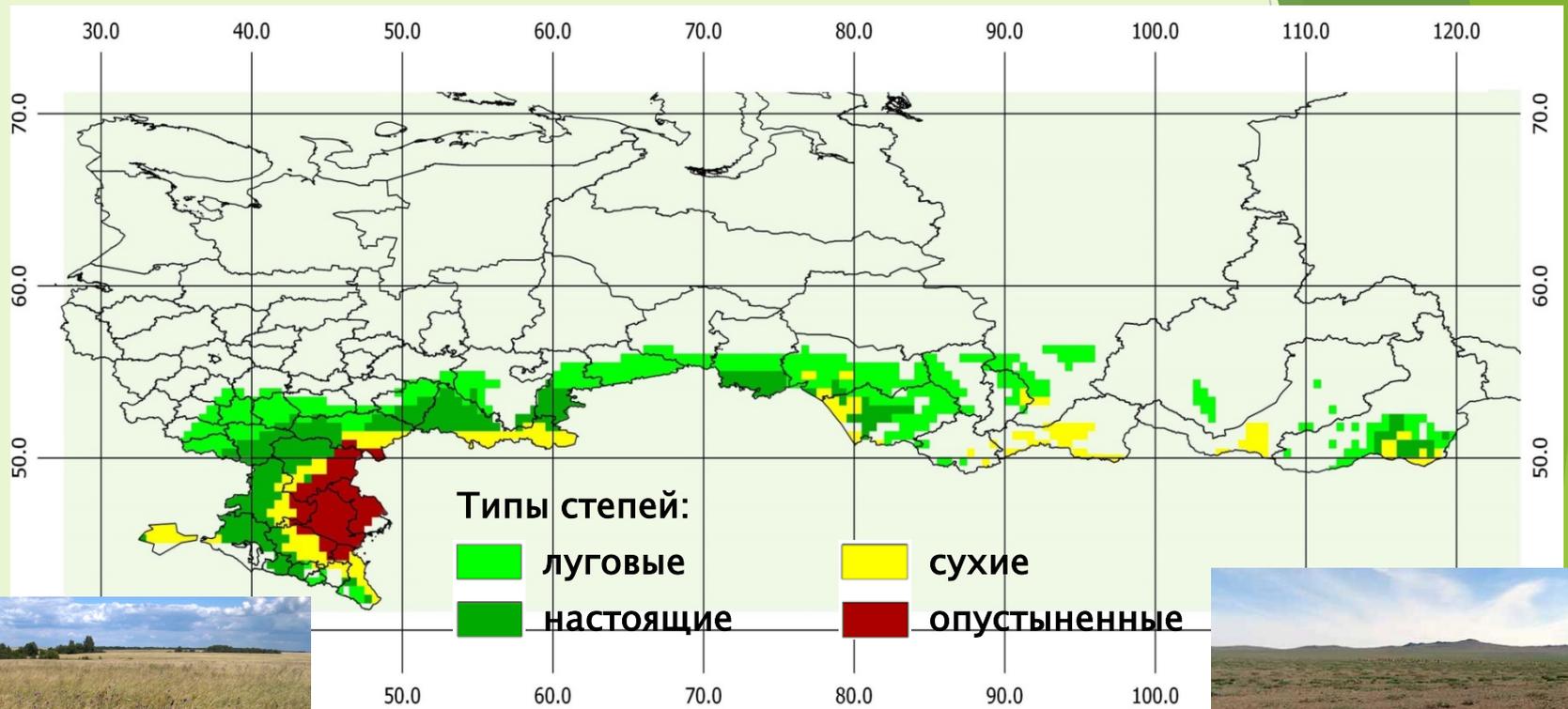
восстановленные степи России ~ 32 млн га

Биопродуктивность экосистем России

Фитомасса



Степные экосистемы России



Луговая (45%)



Настоящая (26%)



Сухая (18%)



Опустыненная (11%)

Изменения климатических параметров в степных экосистемах

Параметр	Луго- вая	Настоя- щая	Засуш- ливая	Сухая	Опусты- ненная
Сумма температур выше 10°С	1900	2000	2100	2300	2600
Годовая сумма осадков, мм	430	380	330	280	150
Сумма зимних осадков, мм	90	80	80	50	40

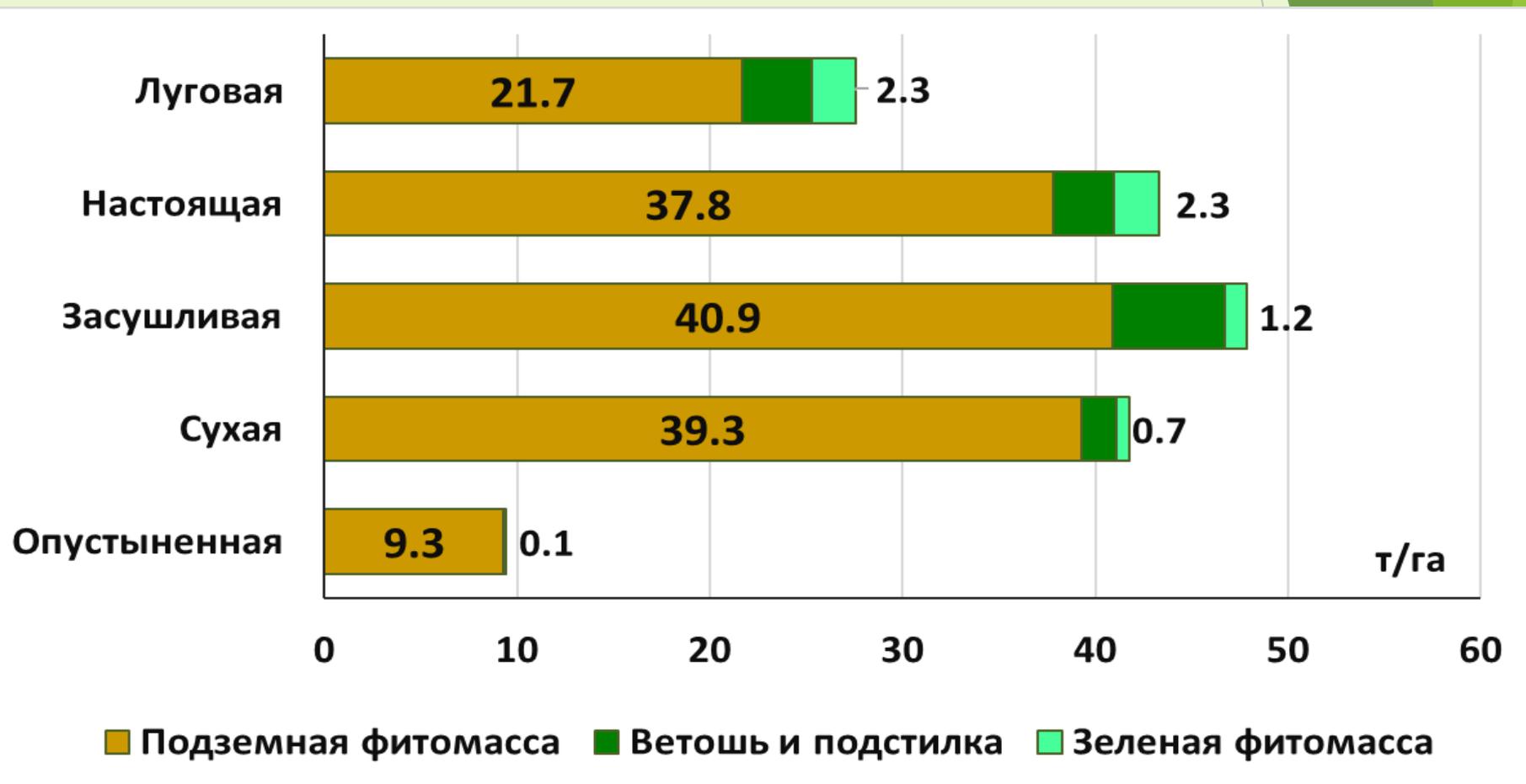
в 1,4 раза

в 2,9 раза

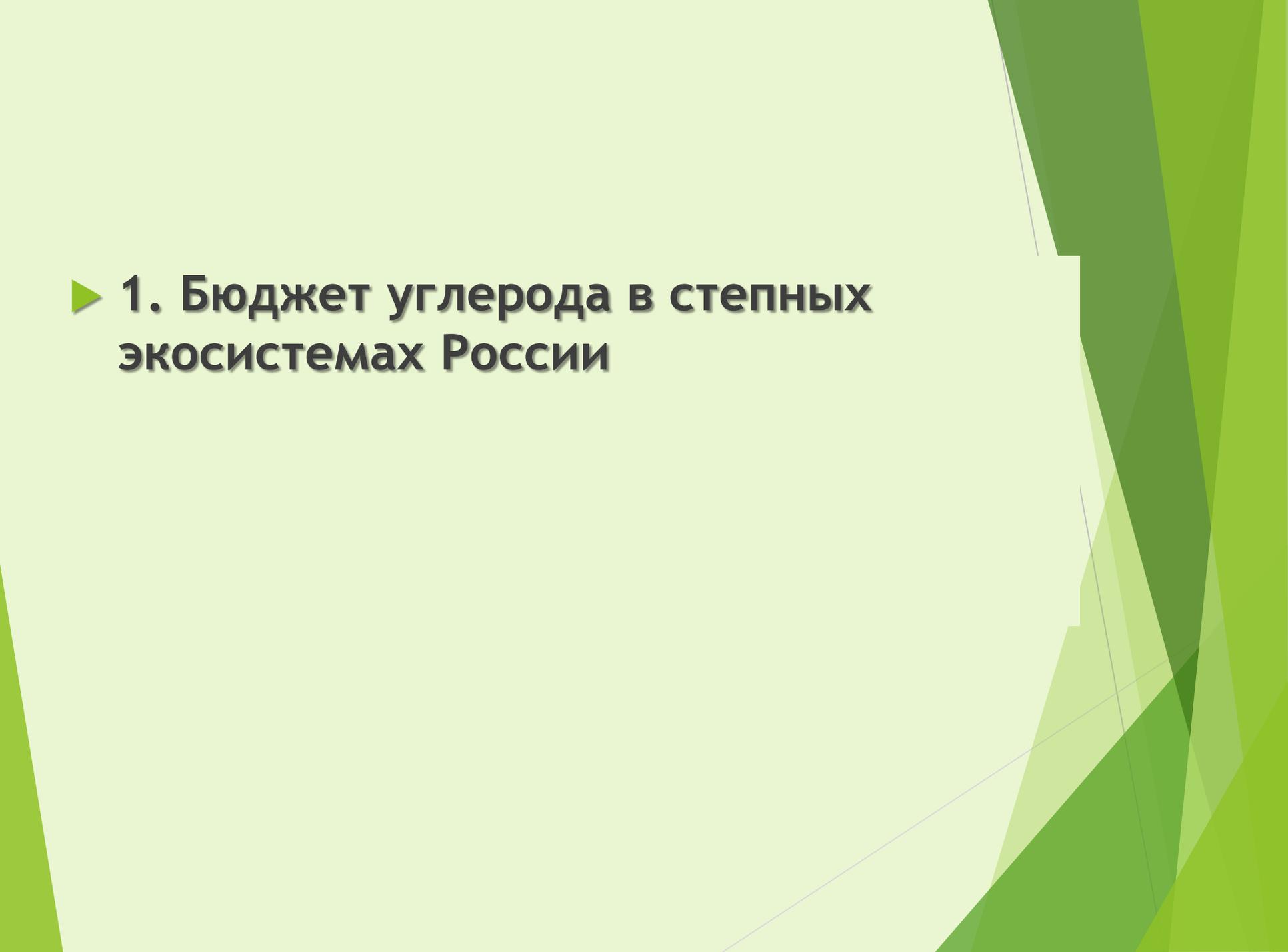
в 2.3 раза

(по Мордкович, 2014)

Биопродуктивность степных экосистем разных подтипов



(по Мордкович, 2014)



► **1. Бюджет углерода в степных экосистемах России**

Баланс углерода в экосистеме

Фотосинтез



$$\text{Баланс C (NEP)} = \text{NPP} - \text{MR}$$

Методы оценки бюджета углерода в степных экосистемах России:

- прямые измерения (метод вихревых пульсаций или eddy-covariance)
- разностный подход (оценка основных компонентов, формирующих баланс C)
 - (i) через оценку средних значений NPP и MR;
 - (ii) используя ГИС- подход;

Оценка баланса С в степных экосистемах прямым методом



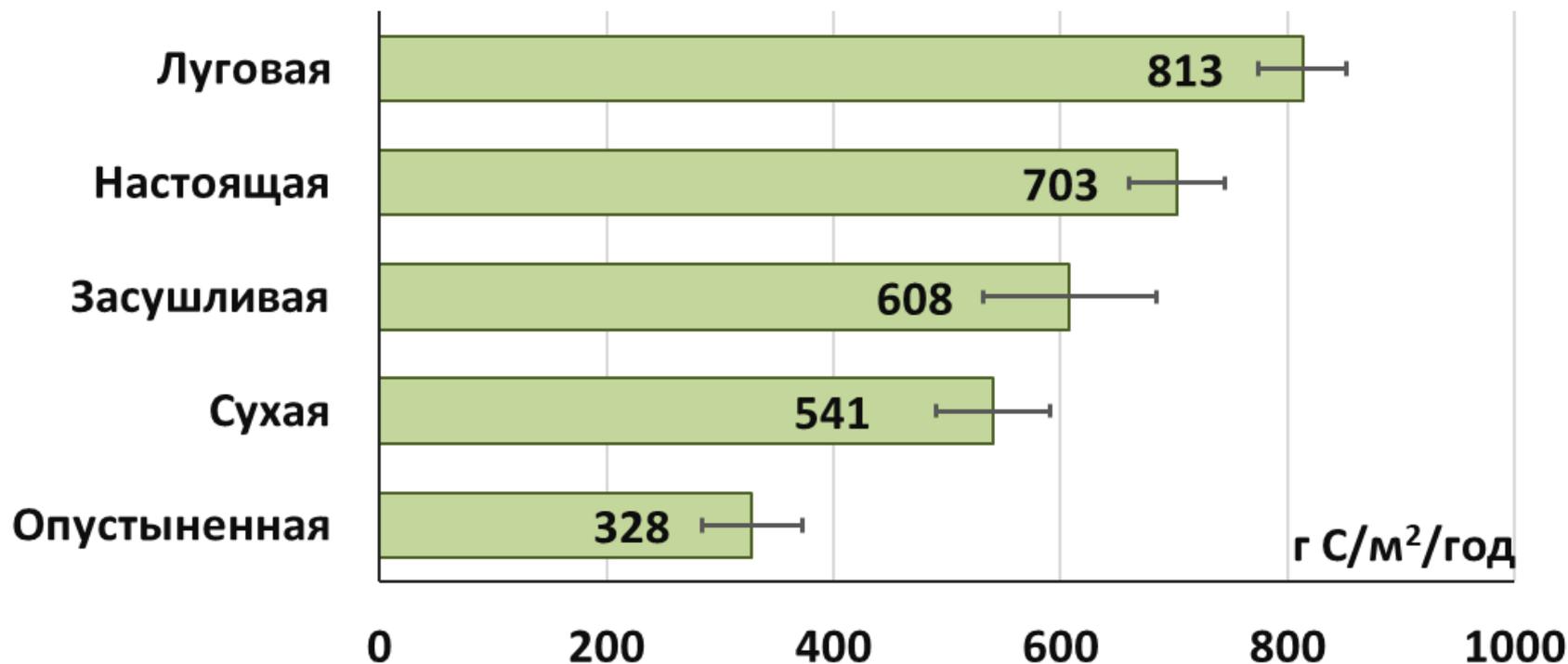
Определения NEE в степях Хакассии методом eddy-covariance (фото L. Belleli Marchezini)

Баланс углерода (NEP, г С/ м²/год) на основе прямого определения методом eddy-covariance

Регион мира	Целина/ залежи	Пастбища/ выпас	Весенние палы
Россия	151 ± 37/ 146 ÷ 201		
Казахстан	42 ÷ 173	-4 ÷ 146	
Европейские страны		-173 ÷ 653	
Северная Америка	- 146 ÷ 109	-69 ÷ + 141	-343

**(отрицательные значения NEP – источник CO₂,
положительные – сток).**

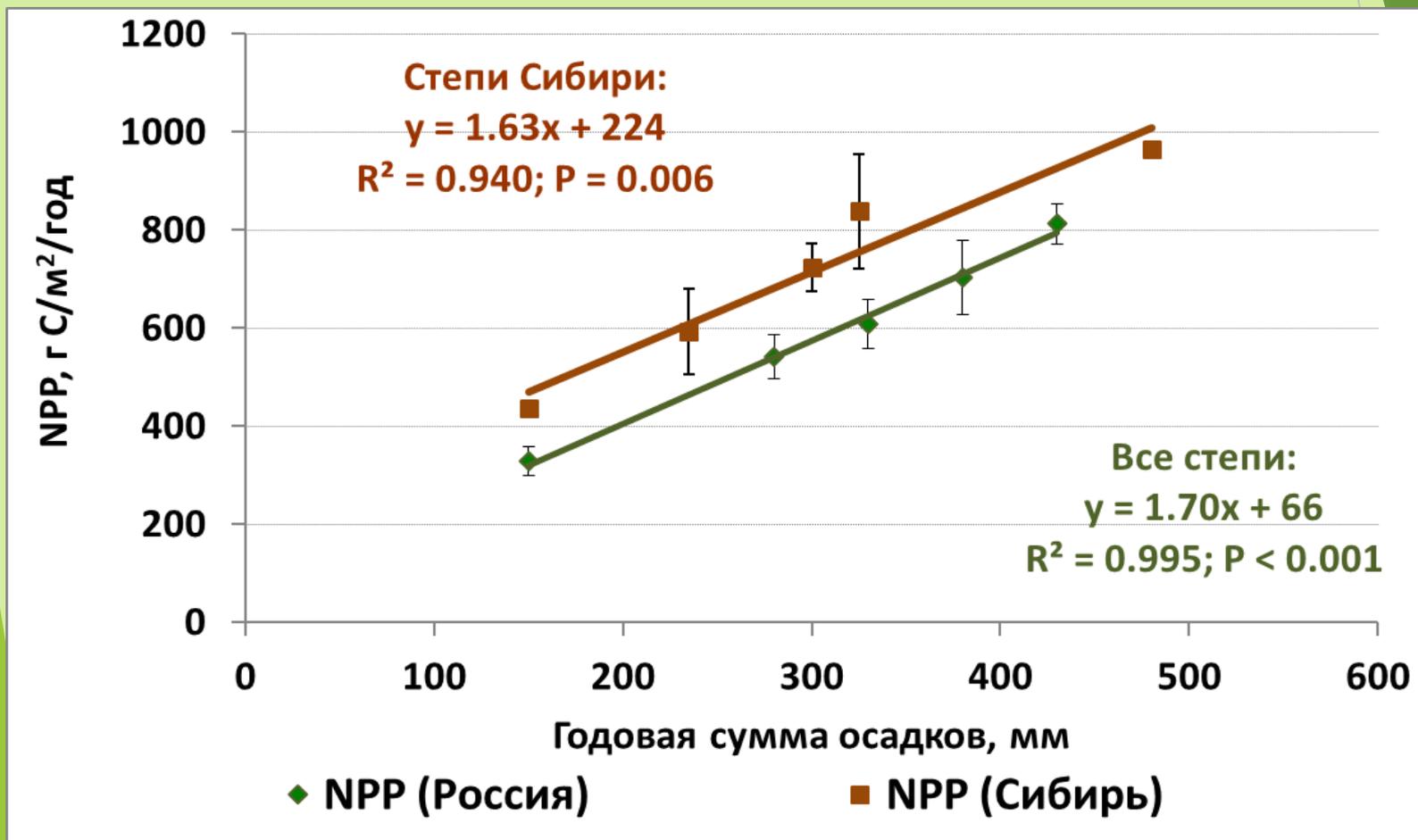
Чистая первичная продукция (NPP) степных экосистем России (анализ базы данных)



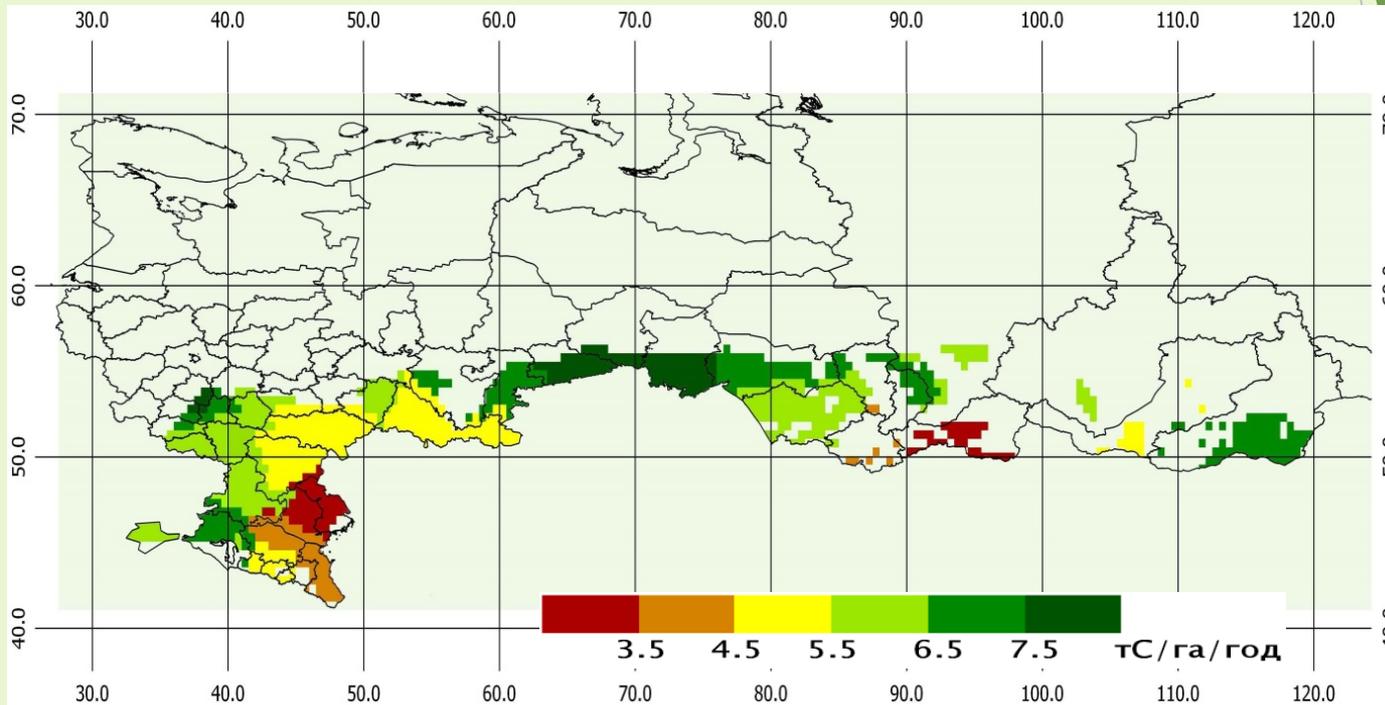
Коэффициент вариации NPP – 20-36%

**Средняя величина NPP в степных экосистемах :
640±29 г С/м²/год**

Связь между NPP степных экосистем и годовым количеством осадков



Первичная продукция степных экосистем России



**Производство степных экосистем (NPP)
(геоинформационный подход): 289 ± 5 МтС/год
(среднее 361 ± 10 гС/м²/год)**

Оценка выполнена на основе геоинформационно-аналитического метода с использованием базы данных эмпирически полученных значений NPP (Базилевич, 1993; Базилевич, Титлянова, 2008; Титлянова, 1977, 1988, 2002; Титлянова и др., 1996, 2002, 2018; Чимитдоржиева и др., 2010; Самбуу, 2016, 2018; Титлянова Шибеева, 2017).

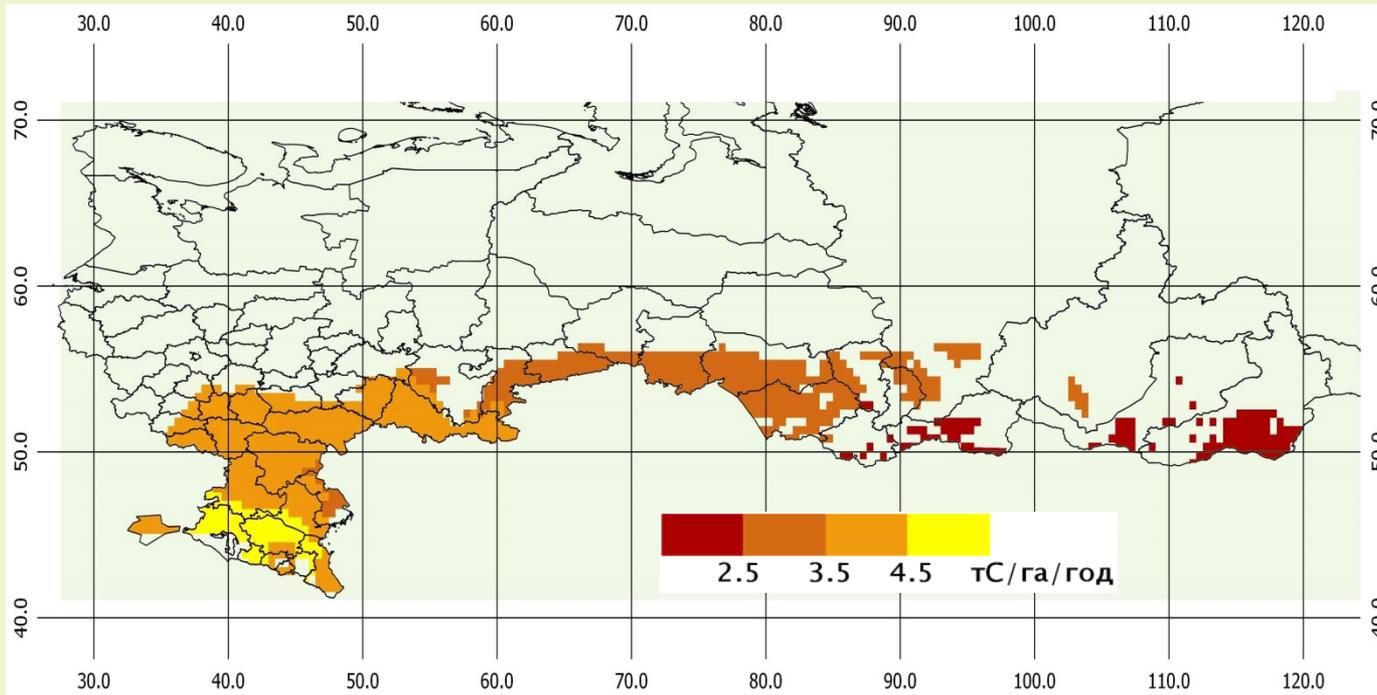
Дыхание почв в степных экосистемах РФ, г С/м²/год (анализ базы данных)

Параметр	Общее дыхание почв, TSR	Микробное дыхание почв, MR
Число экосистем	19	19
Среднее	869	478
Медиана	516	284
Минимум	194	107
Максимум	3269	1798
SE	174	95
CV, %	87	87

MR = 0.55 TSR (Kurganova, 2003)

MR (ср.) = 478 г С/м²/год

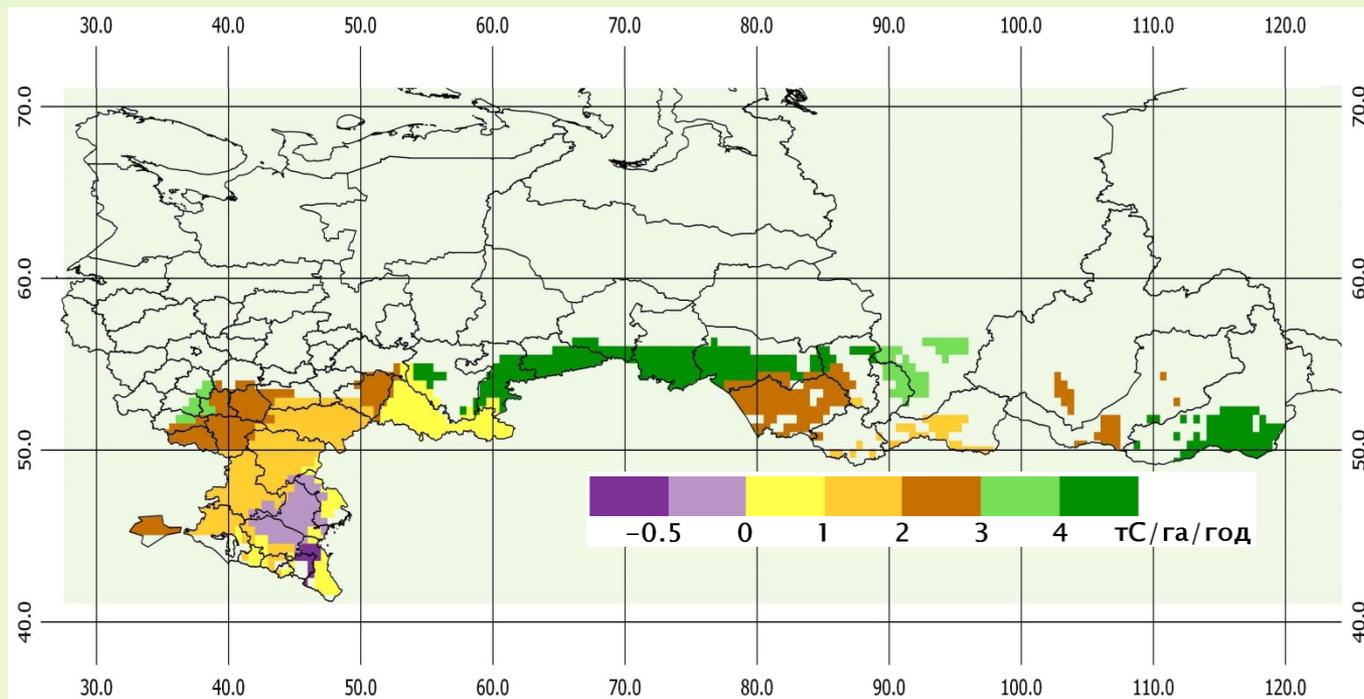
Интенсивность микробного дыхания почв в степных экосистемах России



**Микробное дыхание почв (MR) степных экосистем
(модельный и геоинформационный подход): 176 ± 7 МтС/год
(среднее 361 ± 10 гС/м²/год)**

Дыхание почв оценивали с использованием T&P – модели (Raich et al., 1995, 2002), которая позволяет оценивать среднемесячную интенсивность выделения CO₂ из почв на основе среднемесячной температуры воздуха (Ta) и суммы осадков за месяц (P).

Углеродный баланс степных экосистем России



**Баланс углерода (NEP) в степных экосистемах
(геоинформационный подход):**

114 ± 13 Мт С/год

(среднее 220 ± 20 гС/м²/год)

Оценка NEE (г С/ м²/год) в степных экосистемах разностным методами

Подход	NPP	MR	NEP
	г С/м ² /год		
Разность средних	640±29	478±95	162±99
Геоинформационный/ модельный	584±20	361±10	223±20

Сток С на территории всей степной зоны
(естественные и восстановленные экосистемы):

77 – 114 Мт С/год

или 10 – 20%

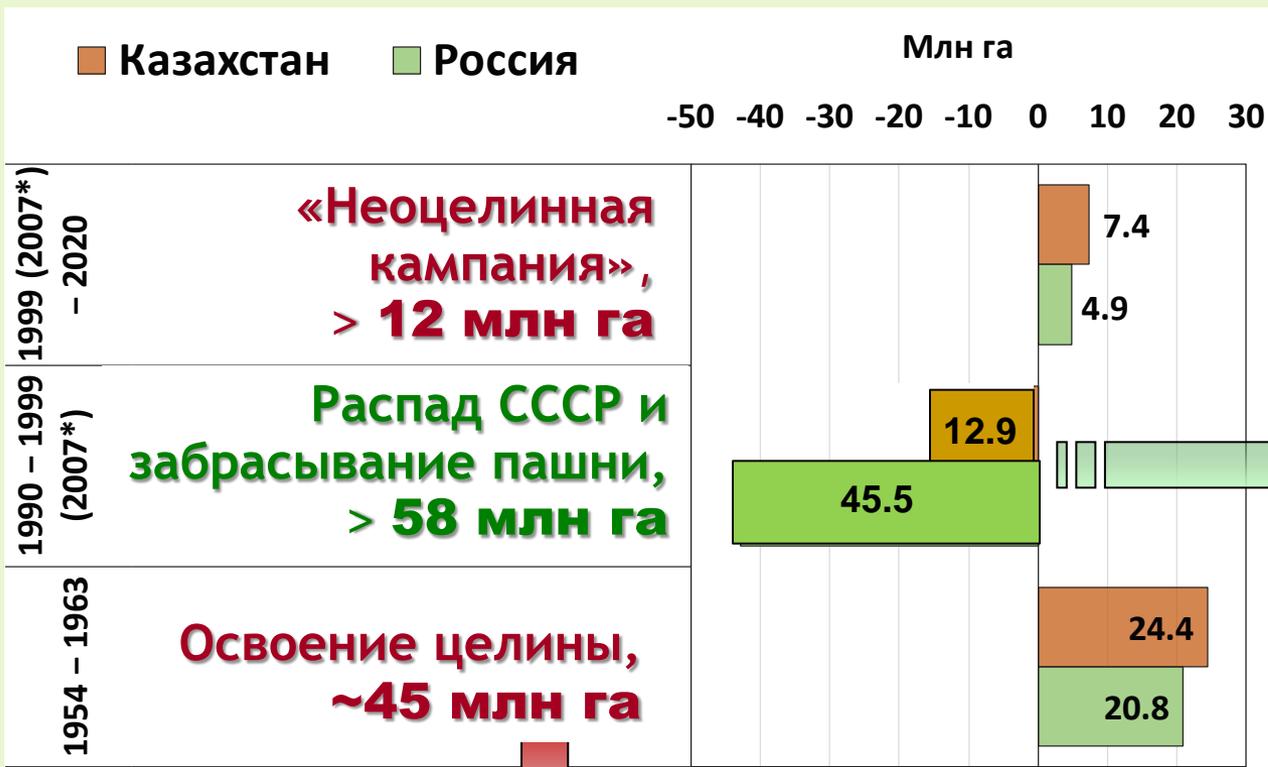
стока С в наземные экосистемы России

Выводы (часть 1)

- ❑ Степные экосистемы России выступают стоком углерода атмосферы, величина которого в зависимости от метода оценки в среднем составляет 152 – 223 г С/м²/год.
- ❑ Для увеличения мощности стокового потенциала углерода в степных регионах эти земли должны быть сохранены.
- ❑ Выпас скота и весенние палы сухой травы являются основными факторами, которые нарушают довольно хрупкое равновесие в степных экосистемах и оказывают негативное влияние на общий стоковый потенциал углерода в зоне степей.

► 2. Влияние землепользования на запасы углерода в почвах степей

Масштабные изменения землепользования в России в XX-XXI веке



Пахотные земли



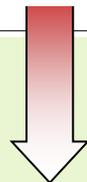
Залежи



?



Целинные степи



Пахотные земли

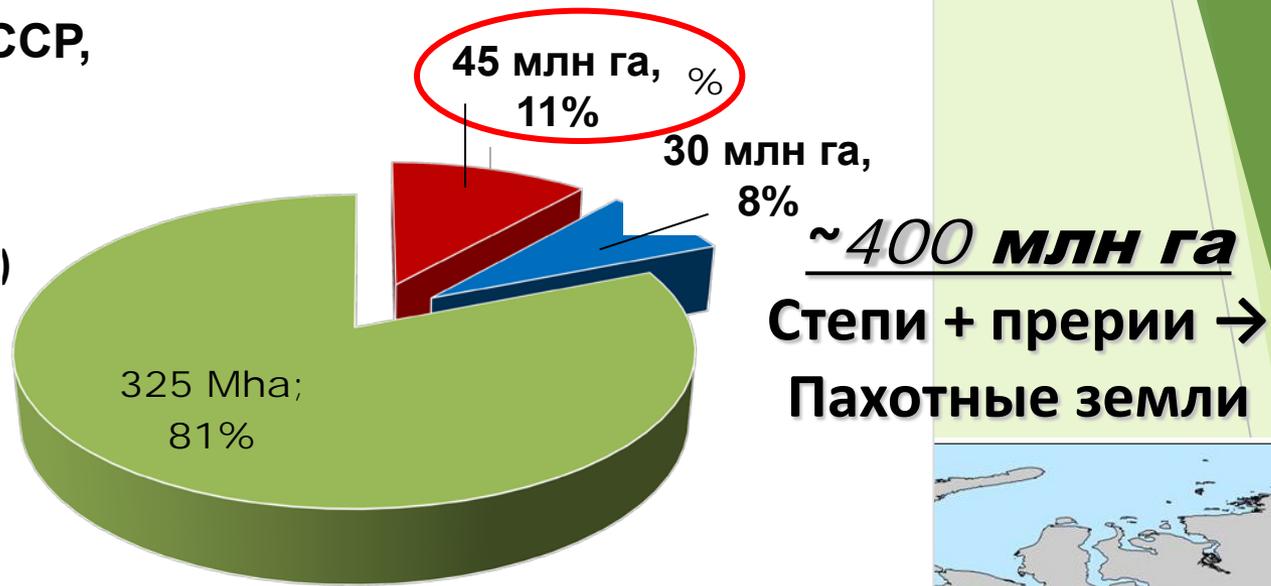


Расширение пахотных угодий за счет степных биомов в XX веке

■ БЫВШИЙ СССР,
1954-1963

■ США,
1934-1936

■ Канада,
Австралия,
Африка и
др.



**Целинная
кампания
1954-1963**

11%



Распашка прерий в США в 1930-е г.

(Dust Bowl era or the Dirty Thirties)



➤ Более 30 млн га было распахано в **Техасе, Канзасе, Колорадо и др. штатах.**

➤ Это было самое масштабное изменение землепользования в Северной Америке в прошлом столетии;

➤ Экологическая катастрофа: пыльные бури, смерчи, деградация земель, миграция населения;

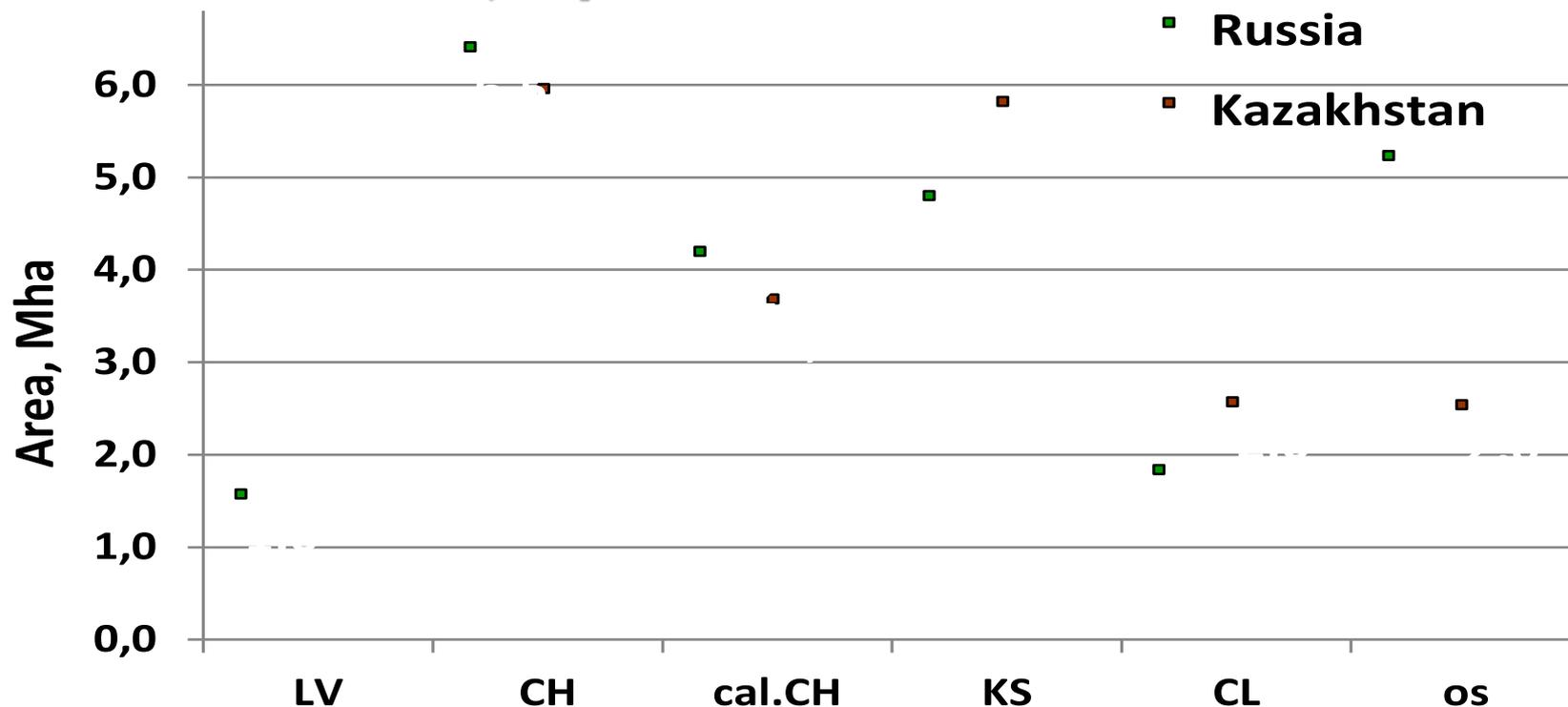
➤ Около 236 Мт С выделилось в атмосферу в 1926-1936 вследствие минерализации органического вещества почвы (*Houghton & Hackler, 2000*);

➤ Каждый гектар земли потерял около 25% исходного количества в слое 0-1 м (*Houghton, 2010*).

➤ **Создана Служба охраны почв США!**

Распределение освоенных целинных земель в соответствии с типом почв

Всего: 45 млн га, черноземы и каштановые почвы – 66%



Основные типы почв:

LV – серые лесные; CH – черноземы; Cal.CH – южные черноземы;
KS – каштановые; CL – солонцы; os – другие почвы.

Какие экологические последствия освоения целинных земель?

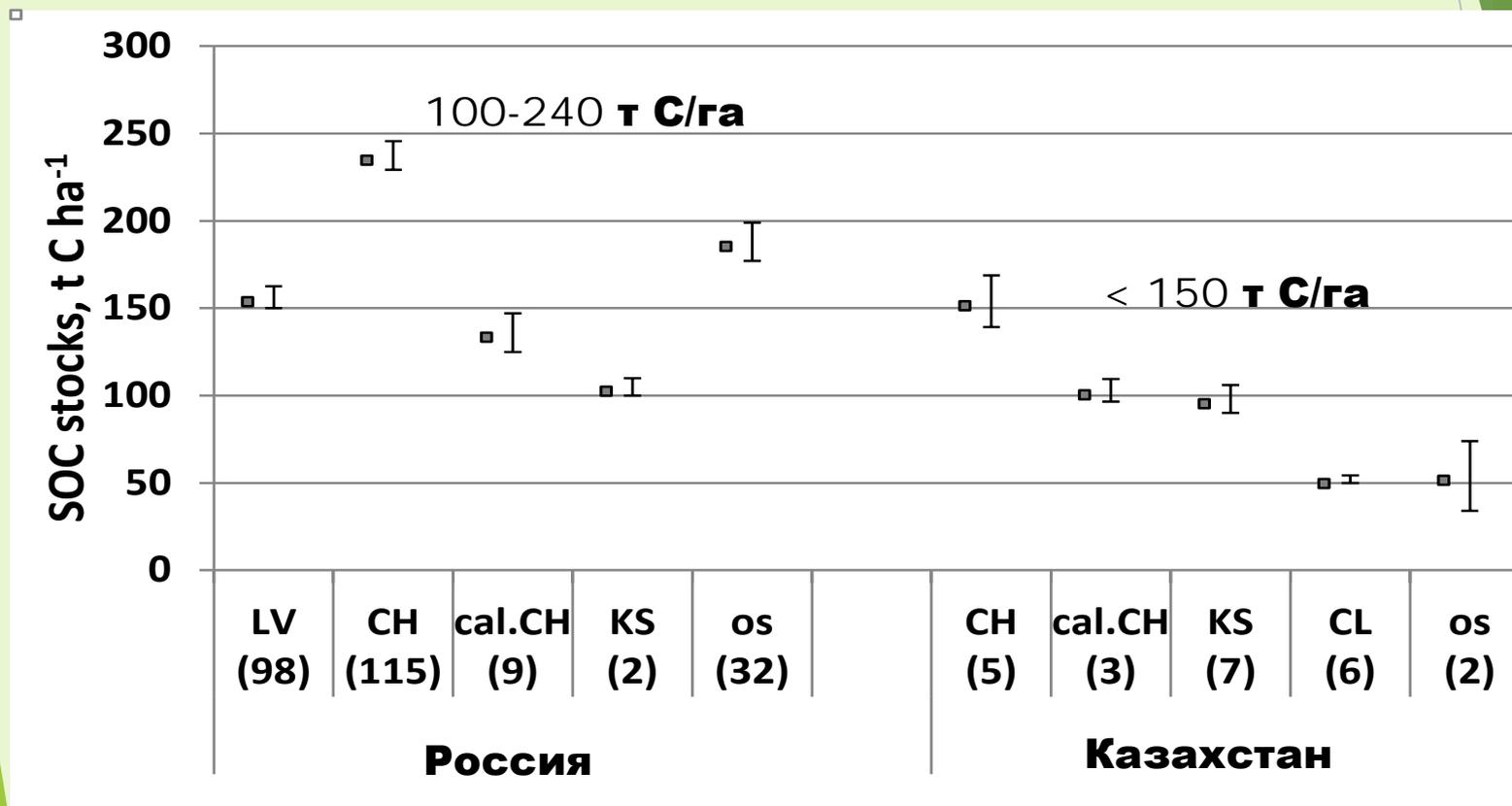


- Почвенная эрозия и деградация;
- Дефляция и пыльные бури;
- Полное исчезновение степных ландшафтов;
- Уменьшение биоразнообразия;
- Аридизация климата;
- Потери углерода из почв из-за эрозии и минерализации;
- Усиление парникового эффекта.

Золотая целина...

??? Потери углерода???

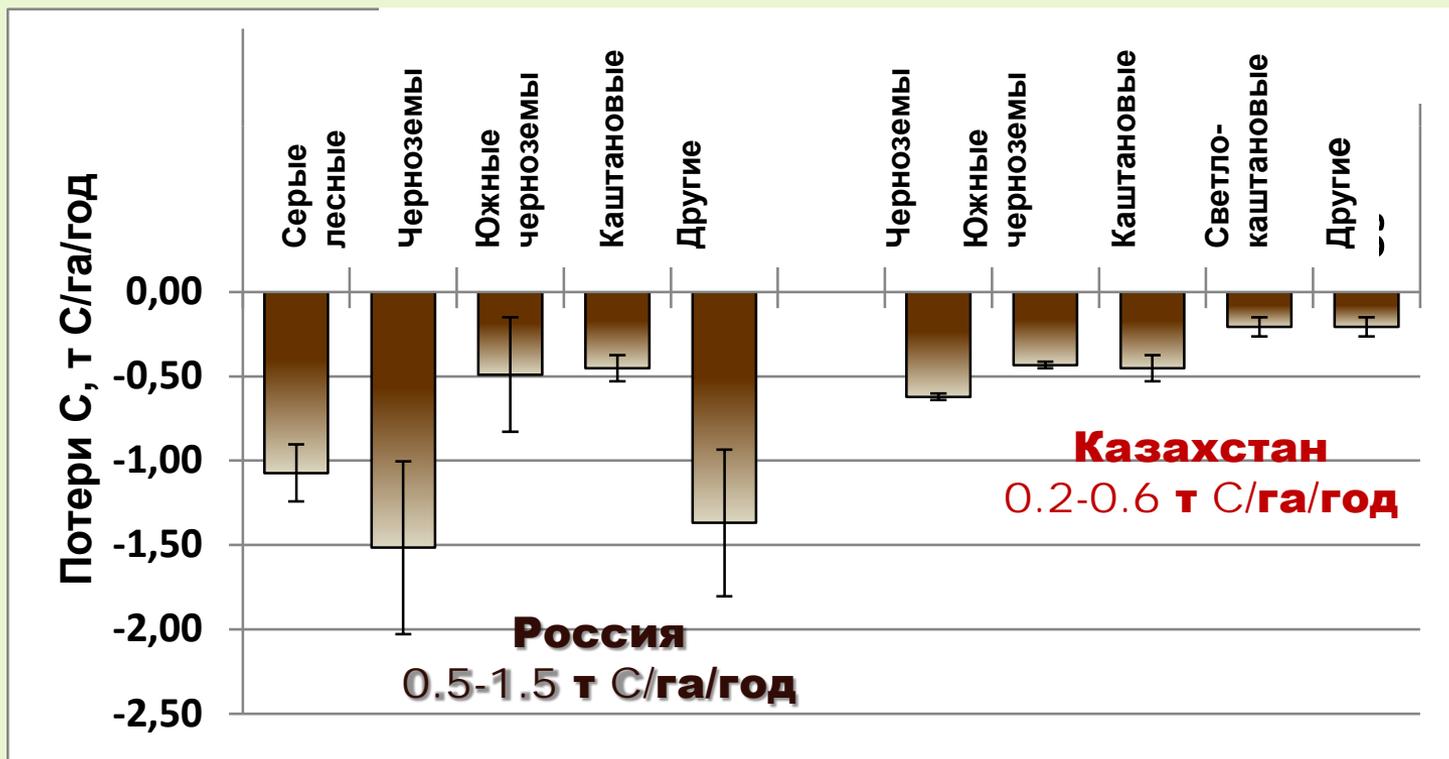
Запасы С в целинных почвах степной зоны России и Казахстана (слой 0-50 см)



Основные типы почв

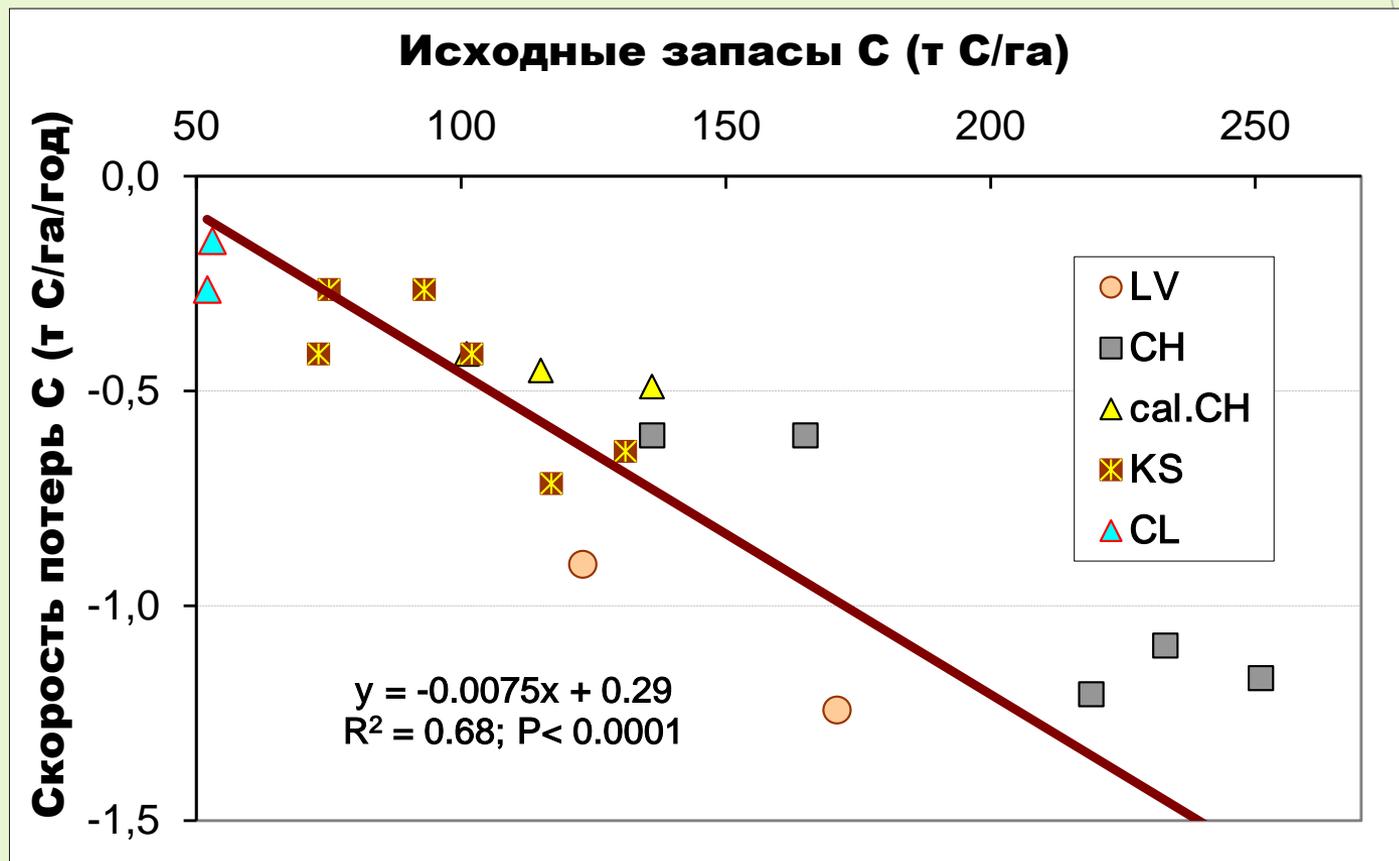
LV – серые лесные; CH – черноземы; Cal.CH – южн. черноземы;
 KS – каштановые; CL – солонцы; os – другие почвы

Скорость потерь углерода из почв при освоении целинных земель (слой 0-50 см)



При освоении целинных земель в первые 20 лет каждый гектар земли терял от 9 до 26% исходного количества Сорг в слое 0-0,5 м в зависимости от типа почв и применяемого метода оценки.

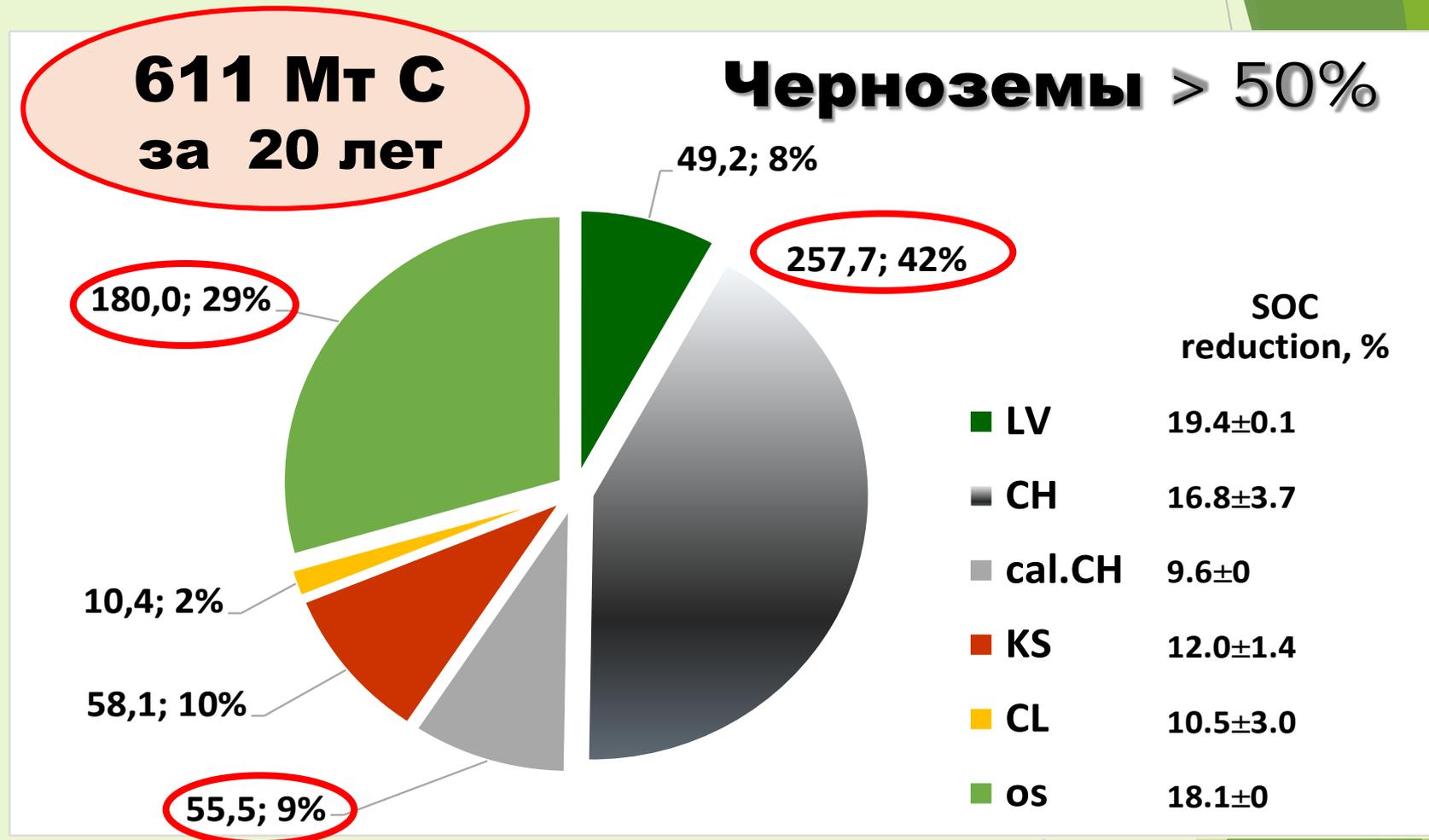
Зависимость скорости потерь С от исходных запасов С в целинных почвах



Основные типы почв

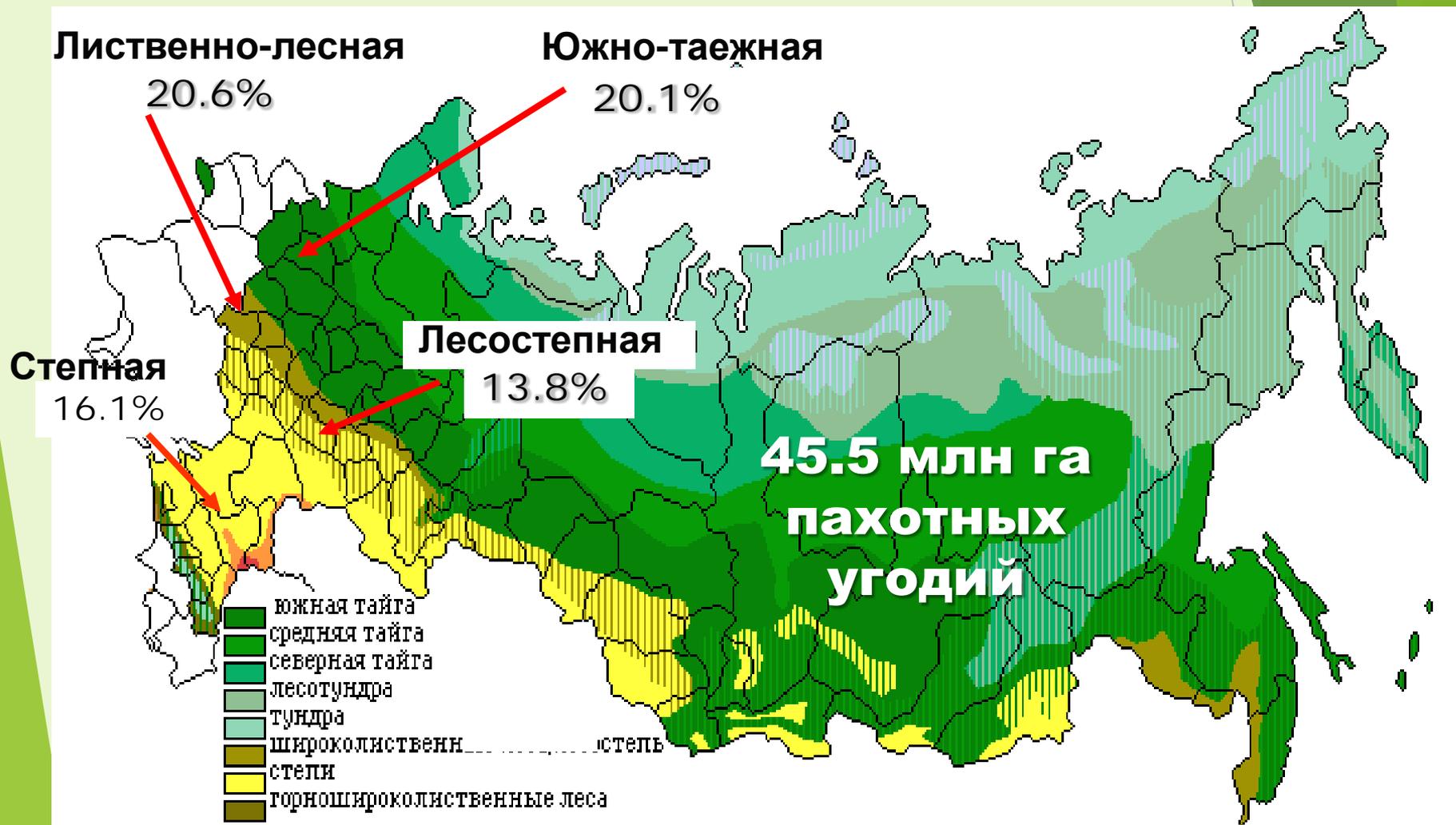
LV – серые лесные; CH – черноземы; Cal.CH – южн. черноземы;
KS – каштановые; CL – солонцы

Уменьшение запасов углерода в почвах России в результате освоения целины (слой 0-50 см)



Основные типы почв: LV – серые лесные; CH – черноземы; Cal.CH – южн. черноземы; KS – каштановые; CL – солонцы; OS – другие почвы

Площади заброшенных земель в различных природных зонах России после 1990-го г. (% от общей площади зоны)

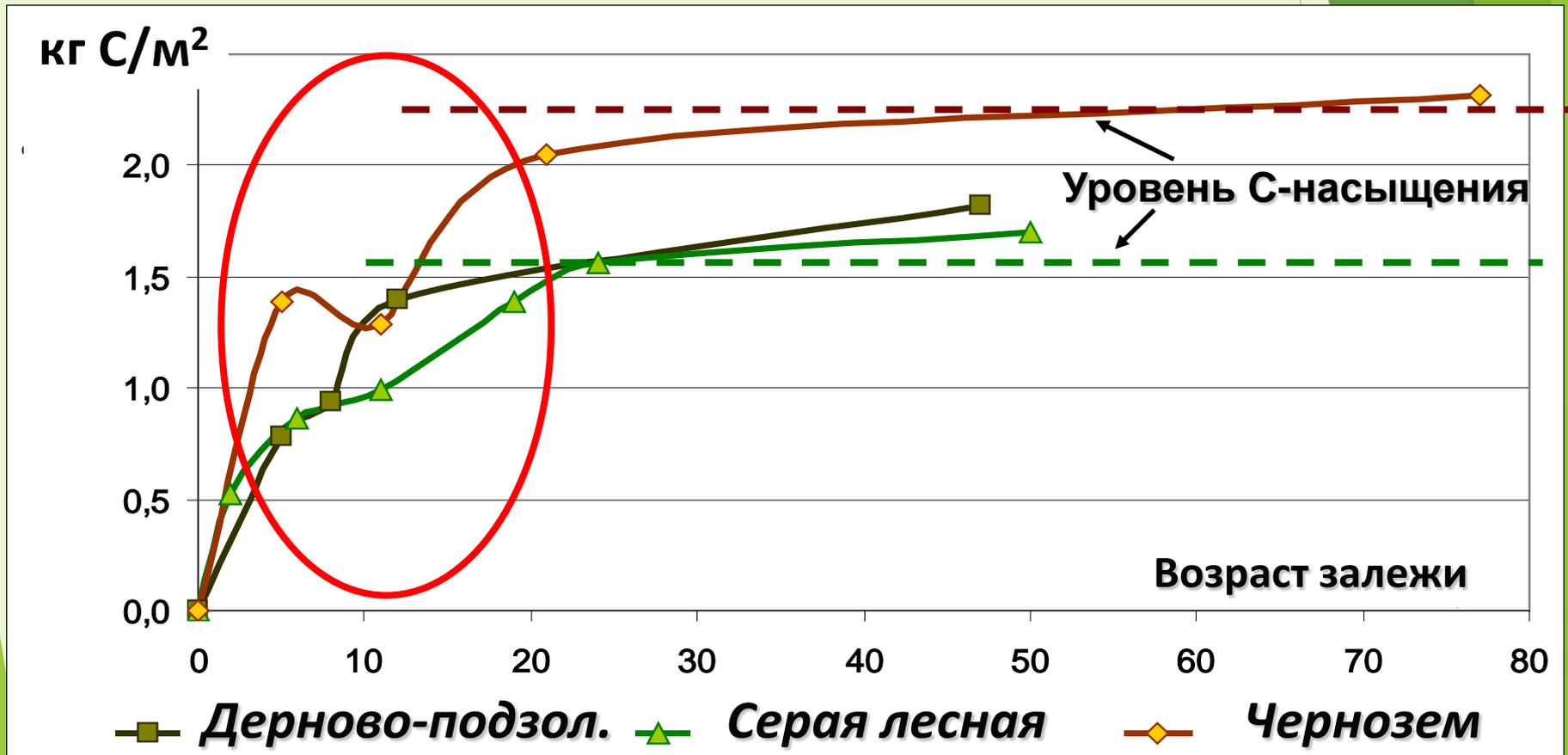


Экологические преимущества в результате забрасывания с/х угодий:

- Восстановление почв и растительности;
- Увеличение растительного и микробного разнообразия;
- Секвестрация углерода в растениях и почвах;
- Смягчение климатических изменений.



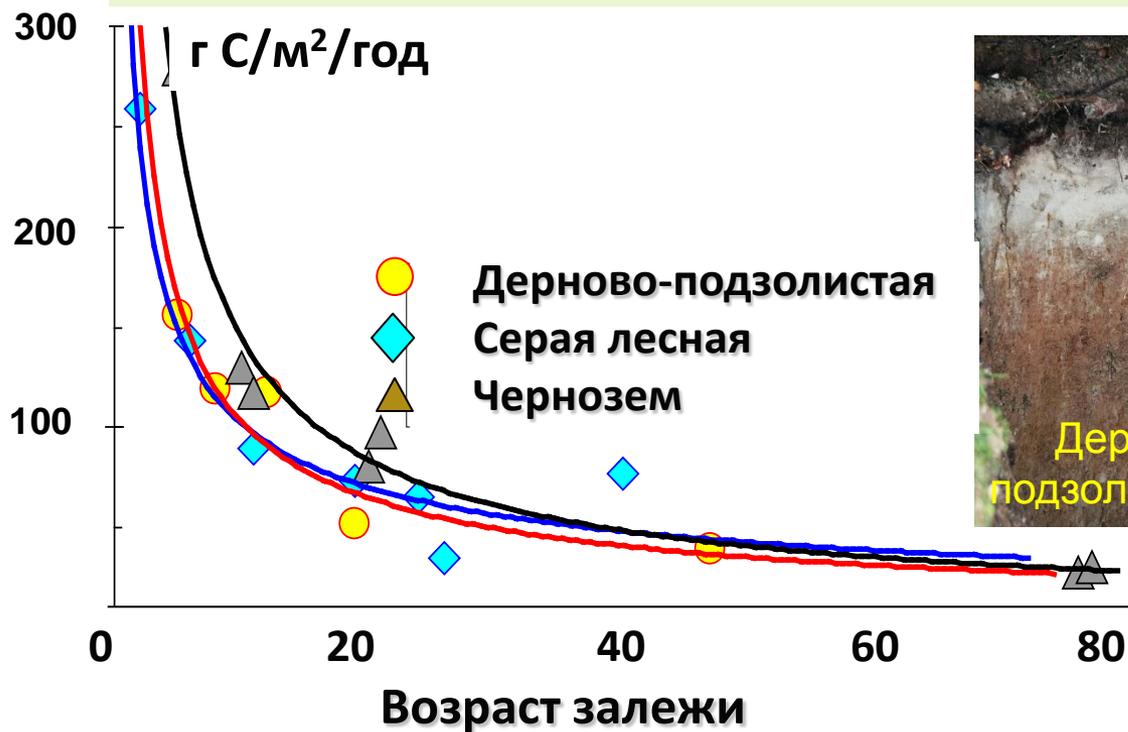
Изменение запасов Сорг в почвах после забрасывания пахотных угодий (слой 0-20 см)



(Kurganova et al., 2015; Catena)

Скорости секвестрирования Сорг в почвах разных типов после забрасывания пашни

Период после забрасывания годы	Средняя скорость секвестрирования С, г /м ² /год		
	Дерн.-Подзол.	Серые-Лесные	Черноземы
1–15	131 ± 13	134 ± 36	175 ± 52
16–30	46 ± 7	67 ± 11	89 ± 30
> 30	39 ± 1	58 ± 19	36 ± 4



Общее накопление Сорг в почвах разных природных зон после забрасывания пашни (слой 0-20 см)

Природная зона	Среднее $\Delta C \pm SE$ (т С/га/год)	Площадь, млн га	Общее накопление С (Мт С/год)
<i>Европейская часть, включая:</i>			
Южная тайга	0.90 ± 0.09	11.1	10.0 ± 1.0
Лиственный лес	1.13 ± 0.11	8.9	10.1 ± 1.0
Степь	1.22 ± 0.18	13.9	17.0 ± 2.5
<i>Азиатская часть</i>			
Среднее	1.01 ± 0.09	11.6	11.7 ± 1.0

Углеродная «цена» наиболее значительных изменений в землепользовании в XX-XXI в.

Территория/ Страна	Характер изменения	Период	С потеря (-) или С секвестрация (+) Мт С/год
Россия (степи)	Освоение целины	1954-1963	-30.5
Россия Степная зона	Забрасывание пашни	1991-2010	+43.8 +17.0
Россия	Распашка залежей после 2007 г.		-5.4 ÷ -7.3

Выводы (часть 2)

- ❑ Изменение землепользования является мощным фактором, влияющим на запасы углерода в почвах .
- ❑ Потери углерода из почв, обусловленные освоением целинных и залежных земель в степных регионах в середине XX века, не были восполнены накоплением углерода за счет забрасывания с/х угодий в степной зоне в начале XXI века.
- ❑ Сегодня, когда изменение климата становится одной из самых острых экологических проблем, очень важно понимание того, что органическое вещество почв представляет собой долговременный резервуар органического углерода, а его сохранение обеспечивает в значительной степени устойчивость общепланетарной климатической системы.

Заключение

- ❑ Степи в России представляют наименее изученный биом в плане оценок баланса углерода, которые на настоящий момент характеризуются большой степенью неопределенности.
- ❑ Роль естественных и восстановленных степных экосистем в формировании бюджета углерода на территории России весьма значительна, учитывая их небольшую площадь.
- ❑ Применение методов ДЗЗ для оценки потоков и запаса углерода в степных биомах представляется крайне перспективным и за ними будущее.



**Спасибо за
внимание!**