

Потоки и резервуары углерода на территории России

Среди многочисленных экосистем Мира имеются экосистемы, накапливающие наибольшие объемы углерода, **а именно, тундры, степи, торфяники.**

Примеры, характеризующие глобальное значение этих экосистем:

- **Экосистемы криосферы** (то есть преимущественно тундры) при доле площади 16% хранят около 50% запасов углерода глобального почвенного покрова.
- **Степи** являются мощным накопителем углерода в расчете на единицу площади, экосистемные запасы углерода здесь выше в 1.6 раза, чем в бореальных лесах.
- Самые мощные накопители углерода среди всех наземных экосистем представлены **торфяниками**, у них средние на единицу площади запасы углерода выше по сравнению с бореальными лесами в 7 раз.

Леса и болота России определяют баланс углерода Северной Евразии



Запасы органического углерода в почвах и торфах России

Зоны	Площадь, млн. га	Запасы С в 0 - 100 см	
		т/га	Гт
Полярно - Тундровая	181	106	19,2
Лесотундровая – Северотаёжная	233	168	39,4
Среднетаёжная	238	219	52,0
Южнотаёжная	237	262	61,9
Лесостепная	681 (40%)	304	38,4
Степная	80	267	21,3
Сухостепная	28	100	2,8
Полупустынная	15	73	1,1
Горные области	576		60,0
Всего	1714		296,1

(Орлов, Бирюкова, 1995)

Площади почв и запасы С орг. в них

Наименование	Площадь млн. км ²	%	Запасы С орг. в слое 0-100 см Г т	%
Почвы Мира	143.6	100	1500	100
Почвенный покров России	16.9	11.7	296	20

Углерод фитомассы в экосистемах Мира и России

Наименование	Г т	%
Наземные экосистемы Мира <i>(IPCC, 1990)</i>	550	100
Лесные системы России <i>(Исаев, Коровин, 1999)</i>	39.8	7

Почвенно-растительный пул углерода и относительный вклад в него почвы и растительной биомассы

Регионы	Надземная биомасса + почва, <i>Gt C</i> (0-100 см)	Вклад (%) почвенного <i>C</i> орг. (0-100 см)	Вклад (%) надземной растительной биомассы
Мир	<i>2050</i>	<i>73</i>	<i>27</i>
Россия	<i>340</i>	<i>88</i>	<i>12</i>

Запасы органического углерода в почвах и эмиссия CO₂

Почвенный покров	Эмиссия С- CO ₂ из почв, Гт/год	Запасы С _{орг} в почвах (0-100 см), Гт	Эмиссия CO ₂ в % к запасам С _{орг} в почвах
Мира (IPCC)	60	1500	4.00
России	4.3	296	1.45

Наземные экосистемы и дыхание ПОЧВ

Экосистемы	Млн. км ²	% от общей наземной территории Земли	Почвенное дыхание (C-CO ₂), % от мирового
Тропическая+субтропическая	17.4	12	34
Умеренная хвойная и лиственная	26.0	18	18
Тундры, болота	6.5	4.5	0.9
Россия (вся территория)	16.9	11.7	6.3

Микробное дыхание почв России

Почвенно-климатические зоны	Площадь, млн. га	C - CO ₂ , млн. т/год	т/га/год
Полярно-тундровая	181	89	0.49
Лесо-тундровая северотаежная	233	245	1.05
Средне-таежная	238	499	2.09
Южно-таежная	237	663	2.79
Лесостепная	126	440	3.49
Степная	80	307	3.83
Сухостепная	28	39	1.39
Полупустынная	15	16	1.06
Горные	576	604	1.04
Всего	1714	2902	1.69

Эмиссия CO₂ из почв в % к запасам С в почвах

<i>Почвенно-климатические зоны</i>	<i>%</i>
Полярно-тундровая	0.46
Лесо-тундровая, северотаежная	0.62
Средне-таежная	0.96
Южно-таежная	1.07
Лесостепная	1.14
Степная	1.44
Сухостепная	1.4
Полупустынная	1.42
Горные	1.00
Среднее	1.01

Факторы продукции и деструкции

Продукция зависит от:

1. Освещенности
2. Температуры воздуха
3. Влажности

Деструкция зависит от:

1. Температуры почвы
2. Влажности почвы
3. Затопления (заболачивания)

Продукция и деструкция зависят от этих факторов по-разному

Ловушки для органического углерода определяются блокированием микробной деструкции

- **Анаэробная ловушка зависит от уровня грунтовых вод**
- **Холодная ловушка зависит от температуры почвы**
- **Физическая ловушка зависит от погребения в осадках**

**Экосистема служит источником или
стоком CO₂ в зависимости от
баланса
первичной продукции
и
микробной деструкции**

Естественные изменения мощности степных почв

(Оценка на основе палеопочвенного метода)

Увеличение мощности почв

- **Маломощные черноземы**
Поволжья и Украины:
последние 4 тыс. лет
развивались со скоростью
+1 см/100 лет
- **Среднемощные черноземы**
Поволжья, Украины, ЦЧО в
период 4-2.4 тыс лет назад
развивались
+3.5 см/100 лет
- **Мощные черноземы**
Предкавказья, ЦЧО.
В период 4-1 тыс лет назад
развивались со скоростью
+1.5 см/100 лет

Уменьшение мощности почв

- **Нормальная денудация**
осредненная за 4 тыс лет
0.6-0.7 см/100 лет.
Суммарная величина денудации
почв за 7 тыс лет – **45 см.**
- **Ускоренная водная денудация,
эрозия, вызванная распашкой,**
перевыпасом скота за последние
0.8 тыс лет **1.1 см/100 лет**
- **Ветровая денудация** имела
преимущественно локальный
характер
- **Трещинная деградация**
гумусового горизонта в период
5.2-3.8 тыс. лет назад составляла
0.4-1.0 см/100 лет

(Иванов, Табанакова, 2004)

Скорость накопления углерода гумуса (биомная продукция – NBP) в степных почвах (Оценка на основе палеопочвенного метода)*

- **Маломощные черноземы** Поволжья и Украины за последние 4 тыс. лет **накапливали гумус со скоростью:**
+ 60 кг С/га/год
- **Среднемощные черноземы** Поволжья, Украины, ЦЧО в период 4-2.4 тыс. лет **накапливали гумус со скоростью до:**
+ 180 кг С/га/год
- **Мощные черноземы** Предкавказья, ЦЧО в период 4-1 тыс. лет **назад накапливали гумус со скоростью до:**
+ 90 кг С/га/год

*(Иванов, Табанакова, 2004): Прирост гумусового горизонта в чернозёмах за последние 4 тыс. лет составлял 1-3.5 см/100 лет

**Запасы С гумуса в
черноземах
(слой 0-100 см)**

Область	т/га
Белгородская	338
Воронежская	370
Курская	290
Липецкая	309
Тамбовская	328
Среднее	327

(Андроников и др. 2001)

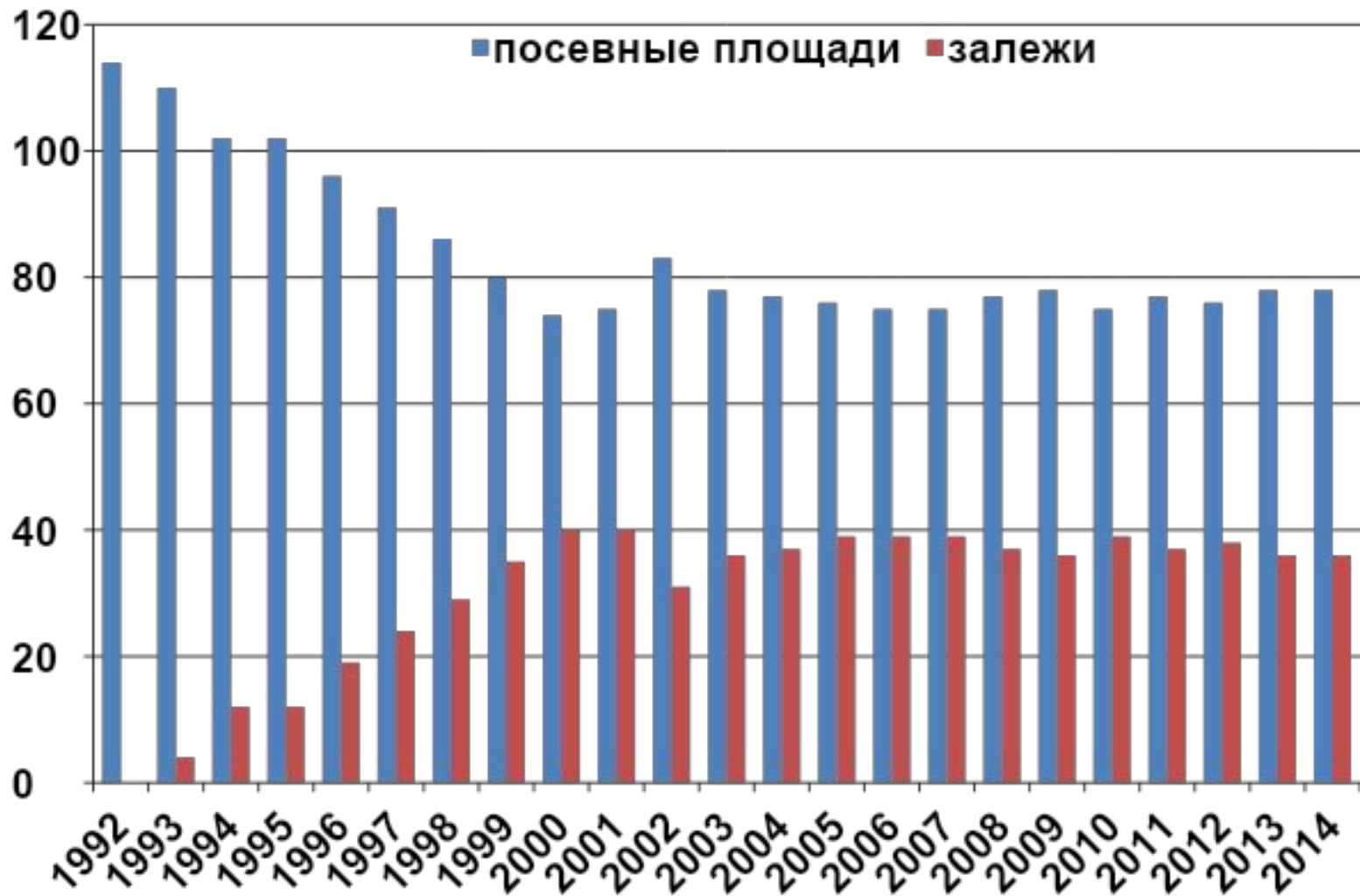
**Такое количество С гумуса могло накопиться
в среднем за 3.6 тыс. лет**

Ежегодный оборот углерода в современных степных экосистемах

Показатели	Величины, т С/га/год*
Чистая первичная продукция фотосинтеза (NPP)	4.0
Микробное дыхание почвы (MR)	3.4
Чистая экосистемная продукция (NEP)	0.6
Чистая биомная продукция (NBP)	0.08

*Расчеты выполнены на основе данных из работы Кудеяров и др., 2007.

Посевные площади и залежи в РФ (млн. га, 1992-2014 г.)



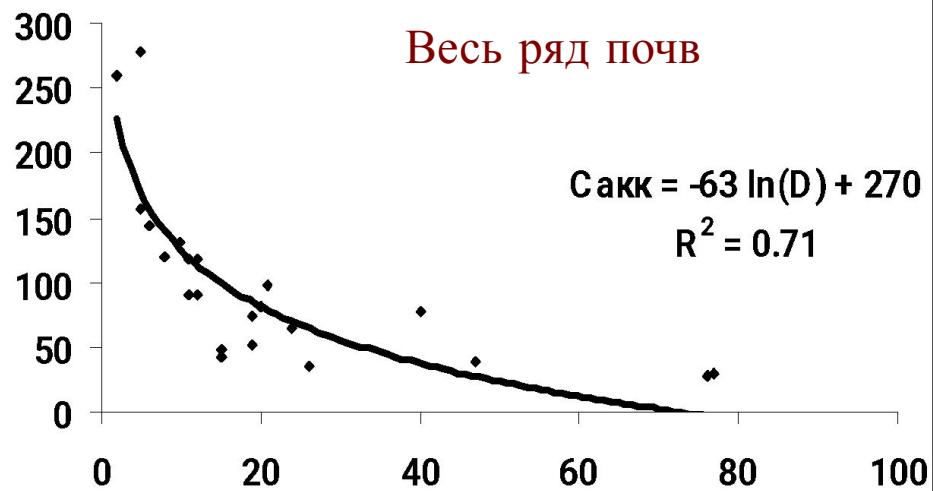
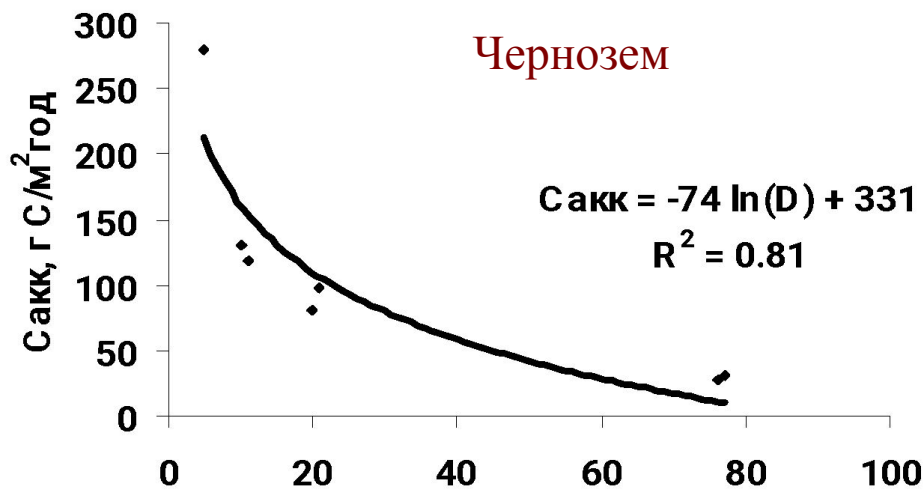
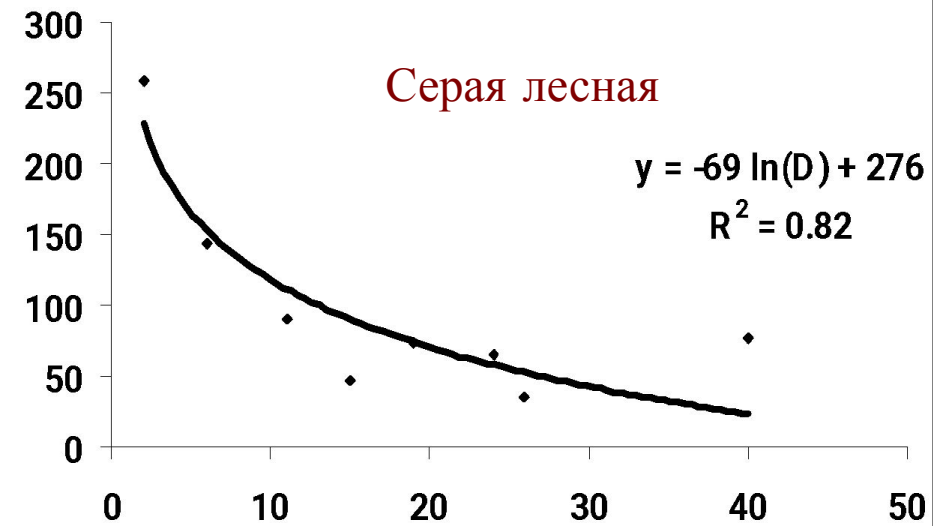
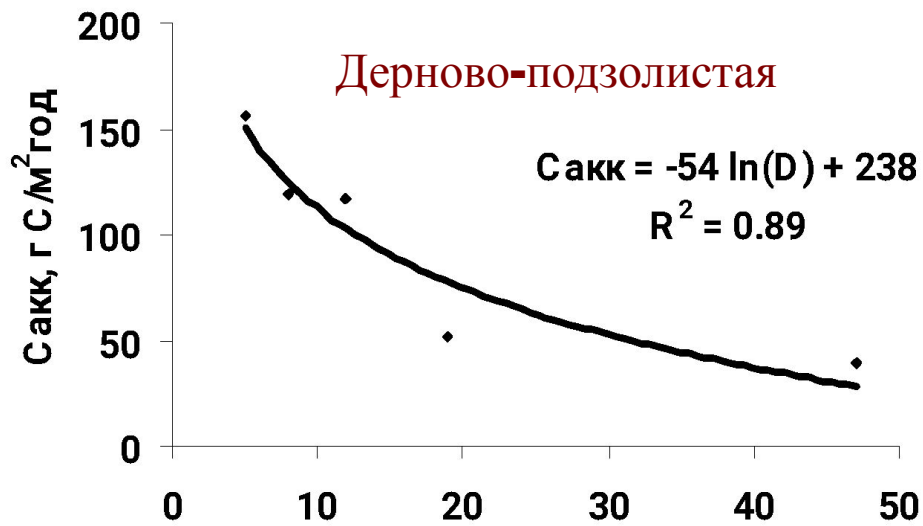
Источник: РОССТАТ: 2000; 2005; 2010; 2015

Скорости накопления углерода (слой 0-20 см) в залежах различного возраста (т С/га/год)

Почва	Возраст залежи		
	1-15 лет	16-30 лет	> 30 лет
Дерново-подзолистая	1.3±0.1	0.46±0.07	0.39±0.01
Серая лесная	1.3±0.4	0.67±0.12	0.58±0.19
Чернозем	1.7±0.5	0.89±0.30	0.36±0.04
Каштановая	0.7±0.2	-	-
Весь ряд почв	1.3±0.21	0.67±0.09	0.43±0.04

Курганова, Кудеяров, Лопес-де-Гереню, 2010

Модели для расчета скорости накопления Сорв в зависимости от возраста залежи



Возраст залежи, лет

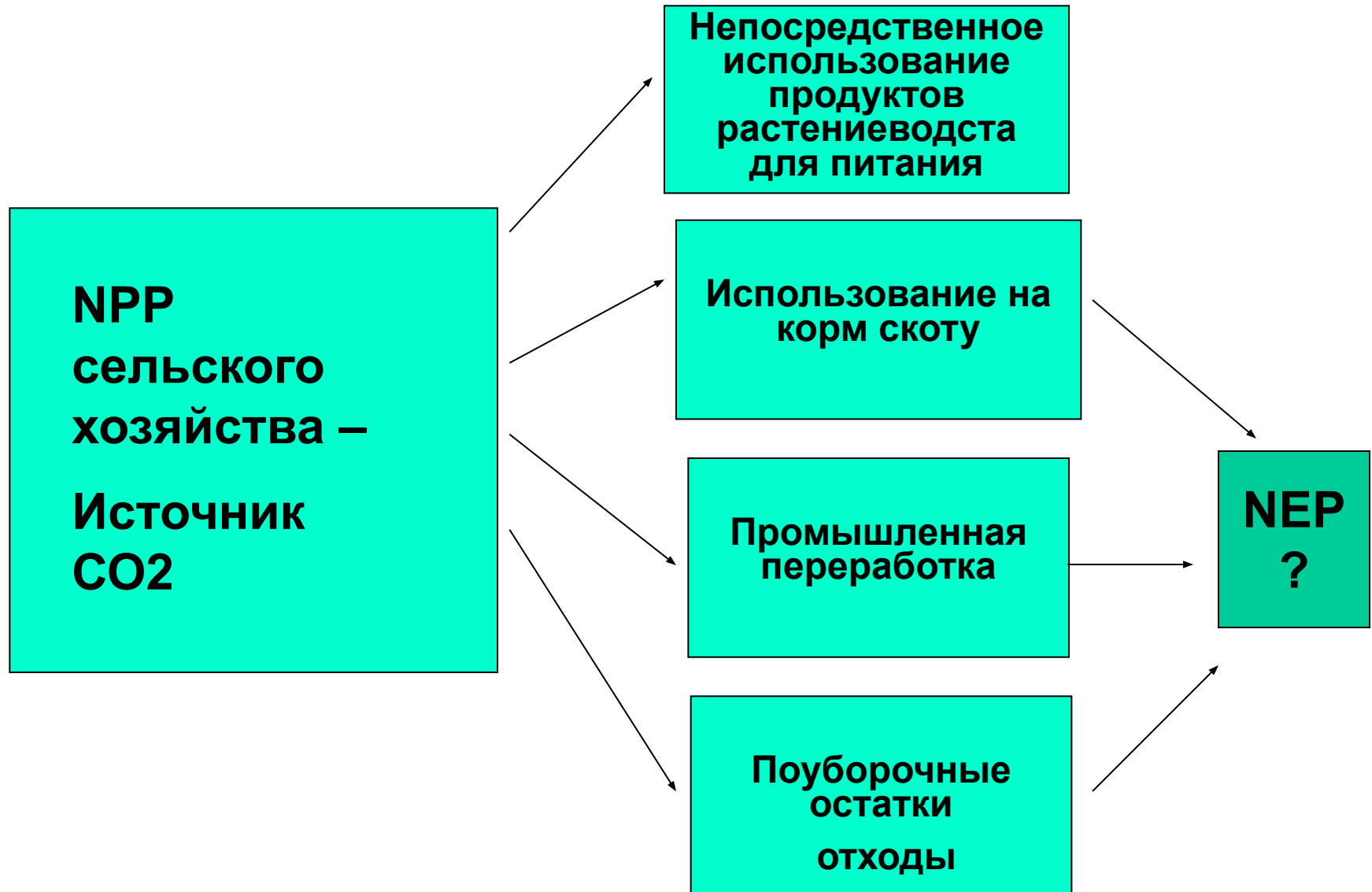
Накопление Сорг. в почвах залежей России за период 1993-2014 гг.

Показатели	Возраст залежи (1-15 лет)	(16-23 года)
*Средняя площадь залежей, млн. га/год	37.8	28.8
**Удельное накопление $C_{орг.}$ в почвах в среднем, т/га/год	1.3	0.7
Общее накопление $C_{орг.}$ в почвах залежей, млн. т/год	49.1	20.2
Всего накоплено $C_{орг.}$ (млн. т) в почвах залежей за период	736	141
Всего накоплено $C_{орг.}$ (млн. т) в почвах залежей за 1993-2014 гг.	877	

*По данным Росстата (2005, 2010, 2015)

**На основе данных (Курганова и др., 2010)

Судьба продукции сельского хозяйства

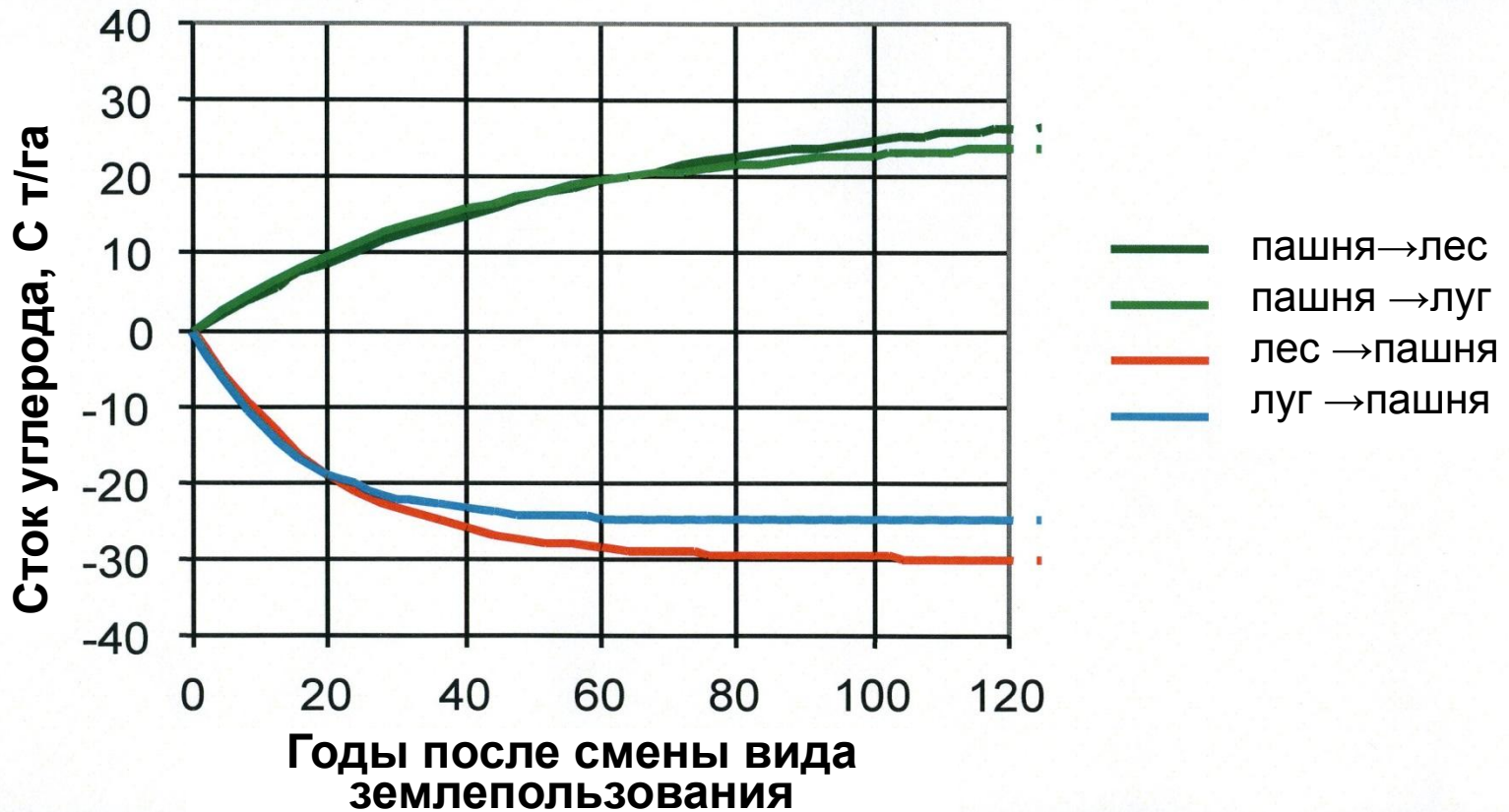


Изменение баланса углерода в сельском хозяйстве России в 1981-2014 гг.*

Периоды	Средняя площадь (млн. га/год)	Средне годовая продукция с/х (NPP) (С, млн. т/год)
1981-1991 (посевы)	132	-150.7 (источник CO ₂)
1992-2014 (посевы)	85	-97.5 (источник CO ₂)
1993-2014 (залежь)	32	+59.4 (сток CO ₂)
С-CO ₂ баланс 1990-2014		-38.1 (источник CO ₂)

*Расчеты сделаны на основе данных Росстата (2000, 2005, 2010, 2015)

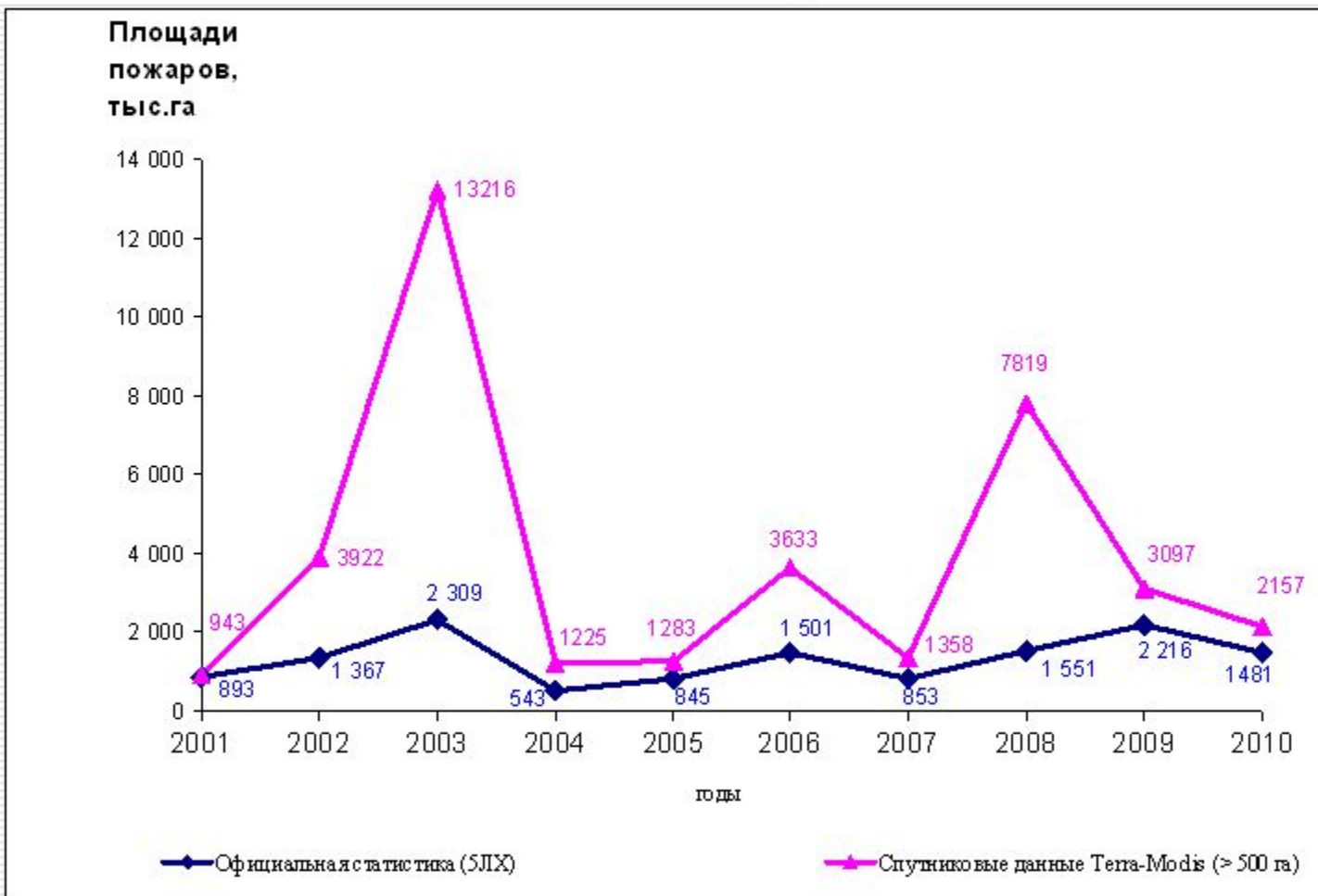
Влияние изменения землепользования на запасы углерода в почвах



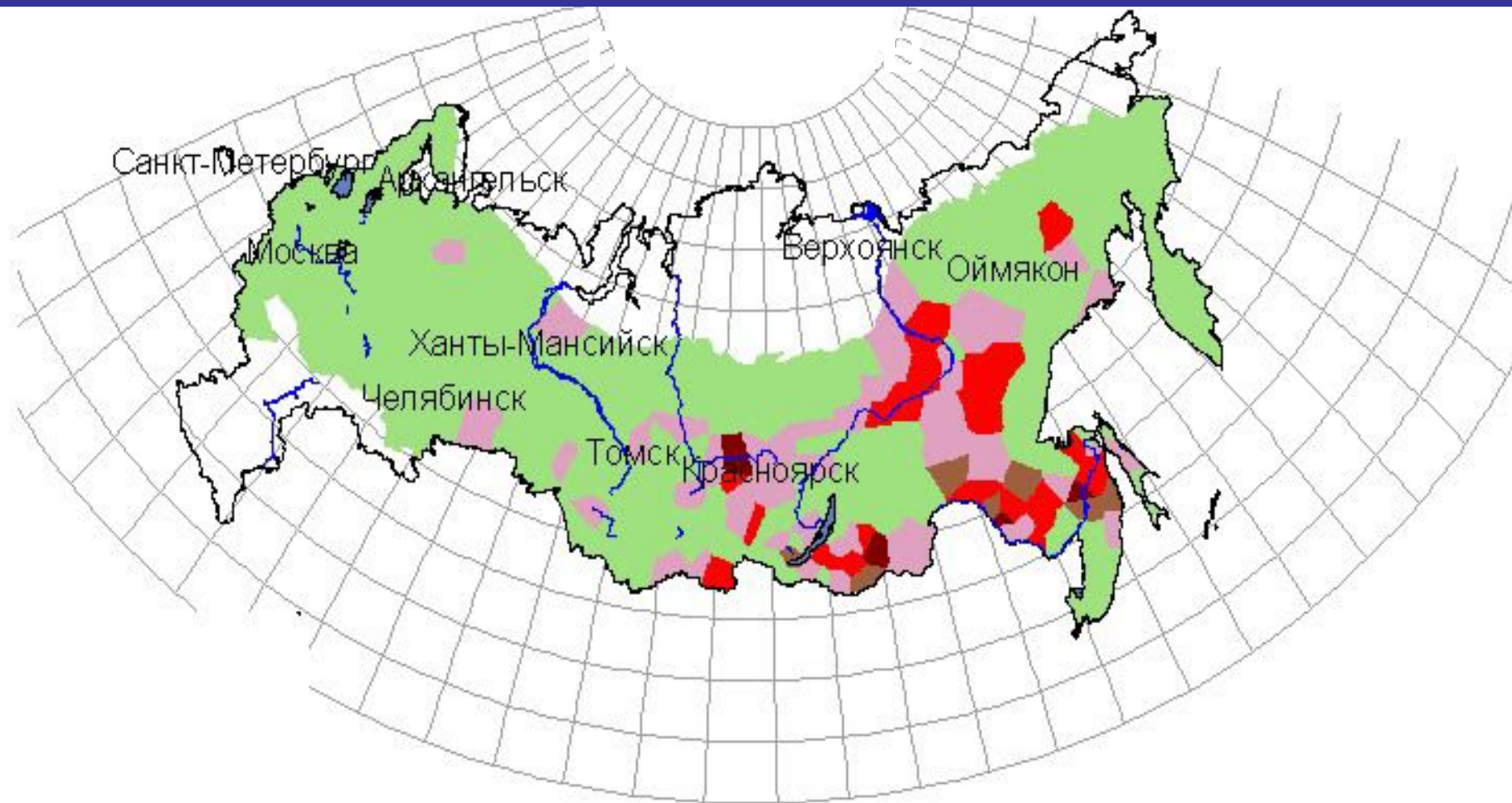
Запасание углерода в почве при смене пашни на луг или лес происходит медленнее, чем минерализация Сорг при обратном переводе в пашню.

(Jean-Francois Soussana, 2004)

Динамика площади лесных пожаров в Российской Федерации



Повторяемость катастрофических

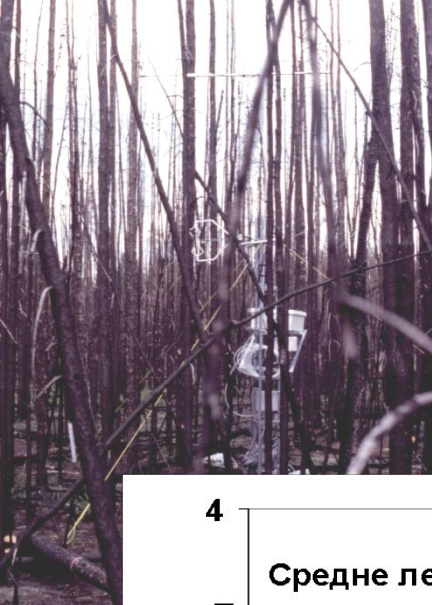
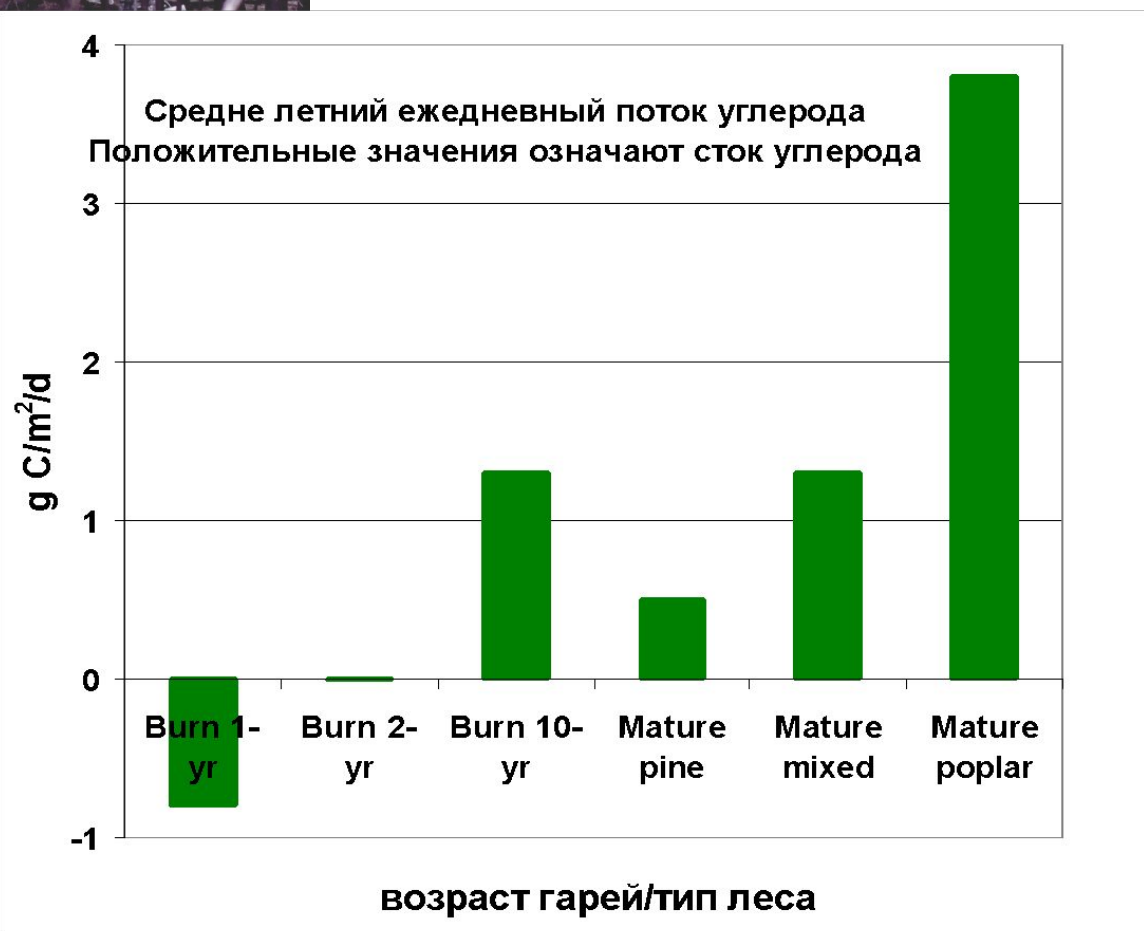


Повторяемость катастрофических пожаров >10000 га



Исаев, Коровин, Лукина, 2011

**Сравнение газообмена CO_2 на площадках, недавно пройденных огнем со спелыми насаждениями (бореальные леса Канады).
Потоки CO_2 измерялись методом (eddy covariance from towers)**



Перенос $C_{\text{орг}}$ в результате эрозии почв Европейской части РФ

Эрозии подвержено:

- сельскохозяйственных земель - **23%**;
- пашни – **27%**.
(в Центрально-Черноземном районе – **53-56%**).
- увеличение площади смытых почв в черноземной полосе – **0.3% в год**,
в некоторых районах – **до 1% в год**.

Потери твердой фазы:

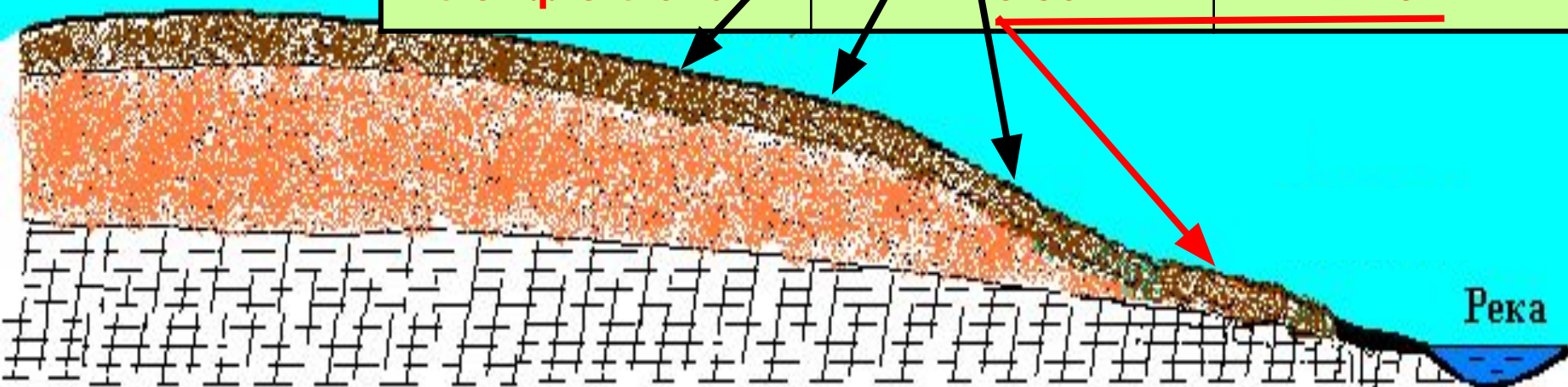
- для серых лесных, оподзоленных и выщелоченных черноземов
5.8-6.7 т/га;
- средняя скорость смыва **6.0 т/га**.

Смыв $C_{\text{орг}}$ с твердой фазой:

- оподзоленные и выщелоченные черноземы
170-220 кг С/га/год;
- серые лесные и дерново-подзолистые
90-120 кг С/га/год

Переотложение С орг. в почве по элементам рельефа, (%)

Элемент рельефа склона	Серая лесная	Дерново-подзолистая
Верхняя часть	2.87	0.83
Средняя часть	2.25	0.82
Нижняя часть	2.73	1.34
Шлейф склона	3.50	1.97



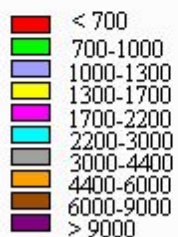
Возраст С орг. в осадках старичного озера (Волго-Ахтубская долина)



ЭМИССИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ПОЧВ РОССИИ



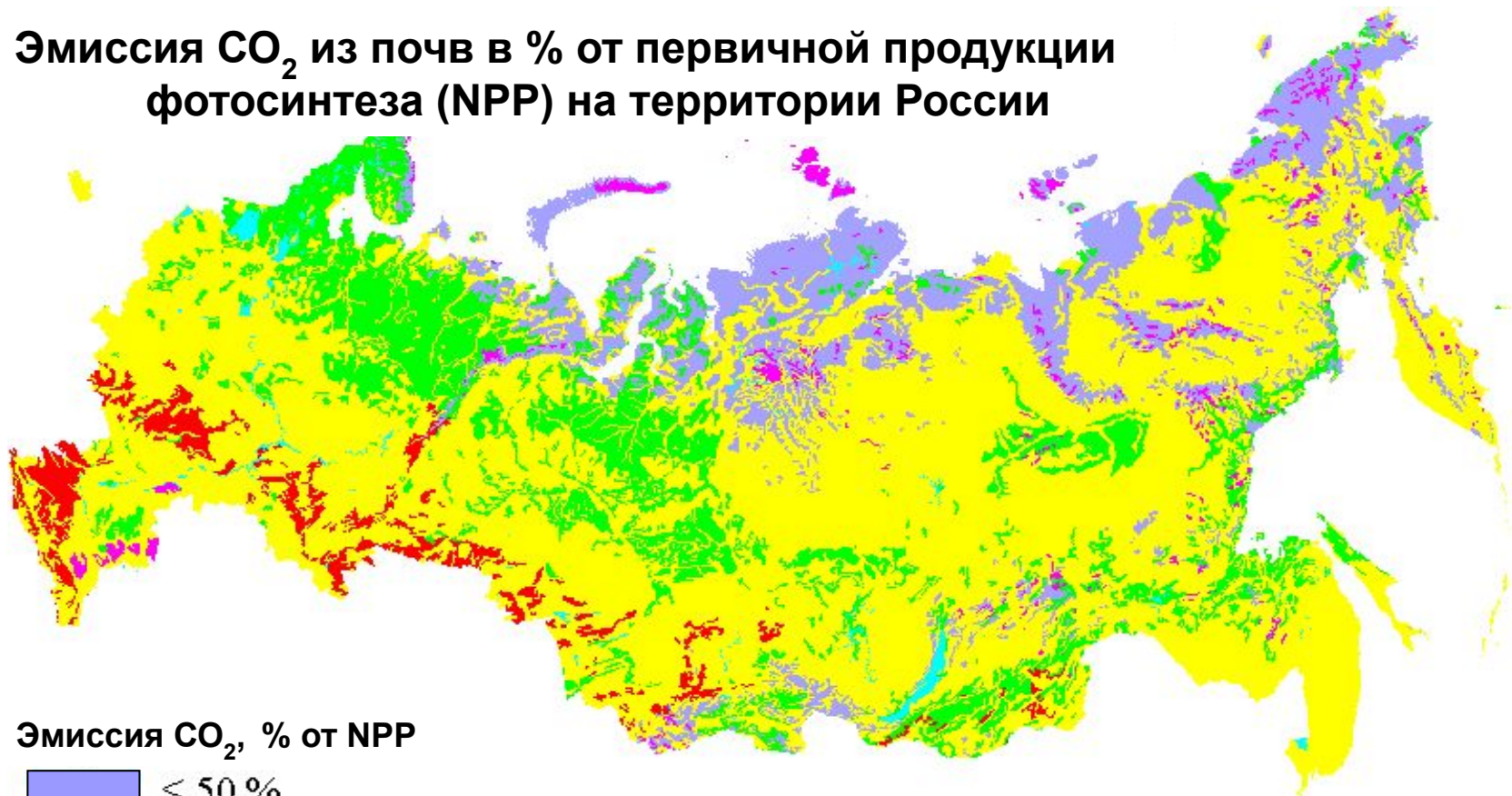
Эмиссия CO₂, кг С-CO₂ / га / год



Blue square: водные объекты
Black square: непочвенные объекты

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
Пушкино, Московская область

Эмиссия CO₂ из почв в % от первичной продукции фотосинтеза (NPP) на территории России



Эмиссия CO₂, % от NPP



Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

Непочвенная эмиссия CO₂ на территории России (среднее за 1996-2006 гг.)

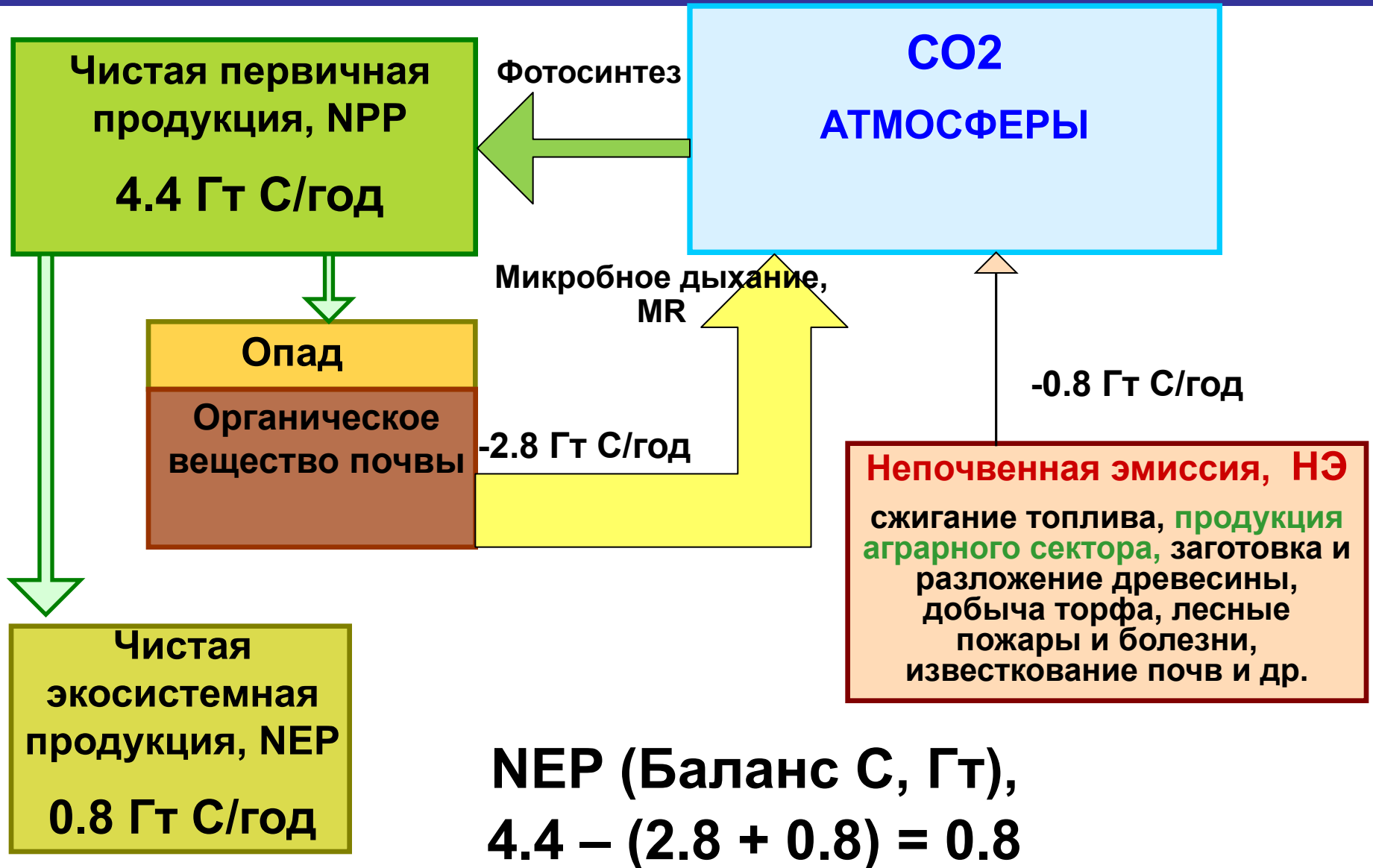
Источники	CO ₂ -С, млн. т/г	% от общего
Ископаемое топливо*	418	51.5
Продукция сельского хозяйства*	108.3	13.3
Заготовка древесины*	18.6	2.3
Добыча торфа*	2.03	0.3
Лесные пожары*	12.0	1.5
После пожарная эмиссия*	12.0	1.5
Поражение леса вредителями*	2.7	0.3
Разложение дробриса**	214	26.4
Известкование почв*	0.36	0.05
Речной сток (растворимый С)	21.8	2.7
Вымывание карбонатов из почв****	1	0.01
Всего	811	100

*Расчеты сделаны на основе статистических материалов – Россия в цифрах, 2008;

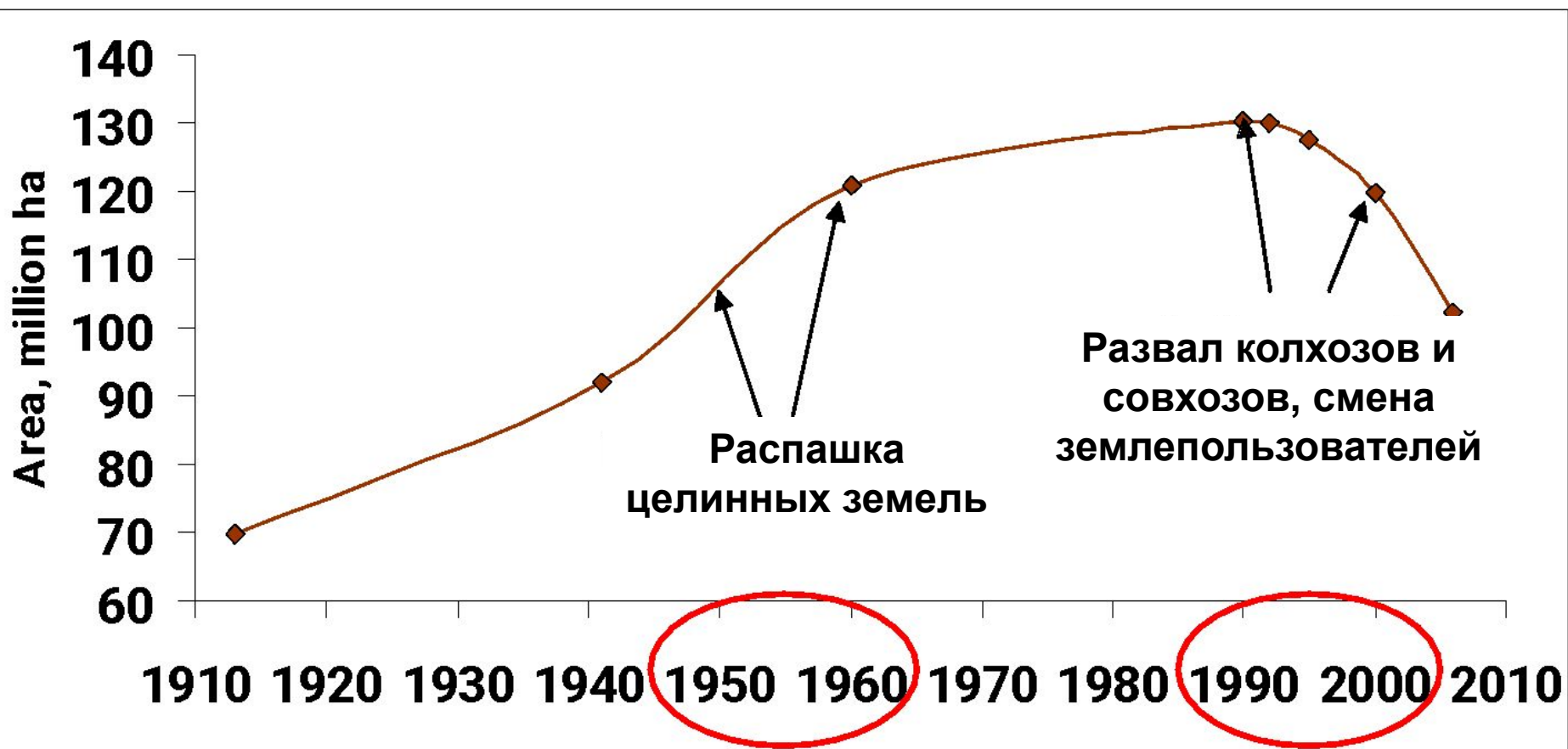
**Замолотчиков и др., 2004;

Виноградов и др., 1999;*Рысков и др., 2004

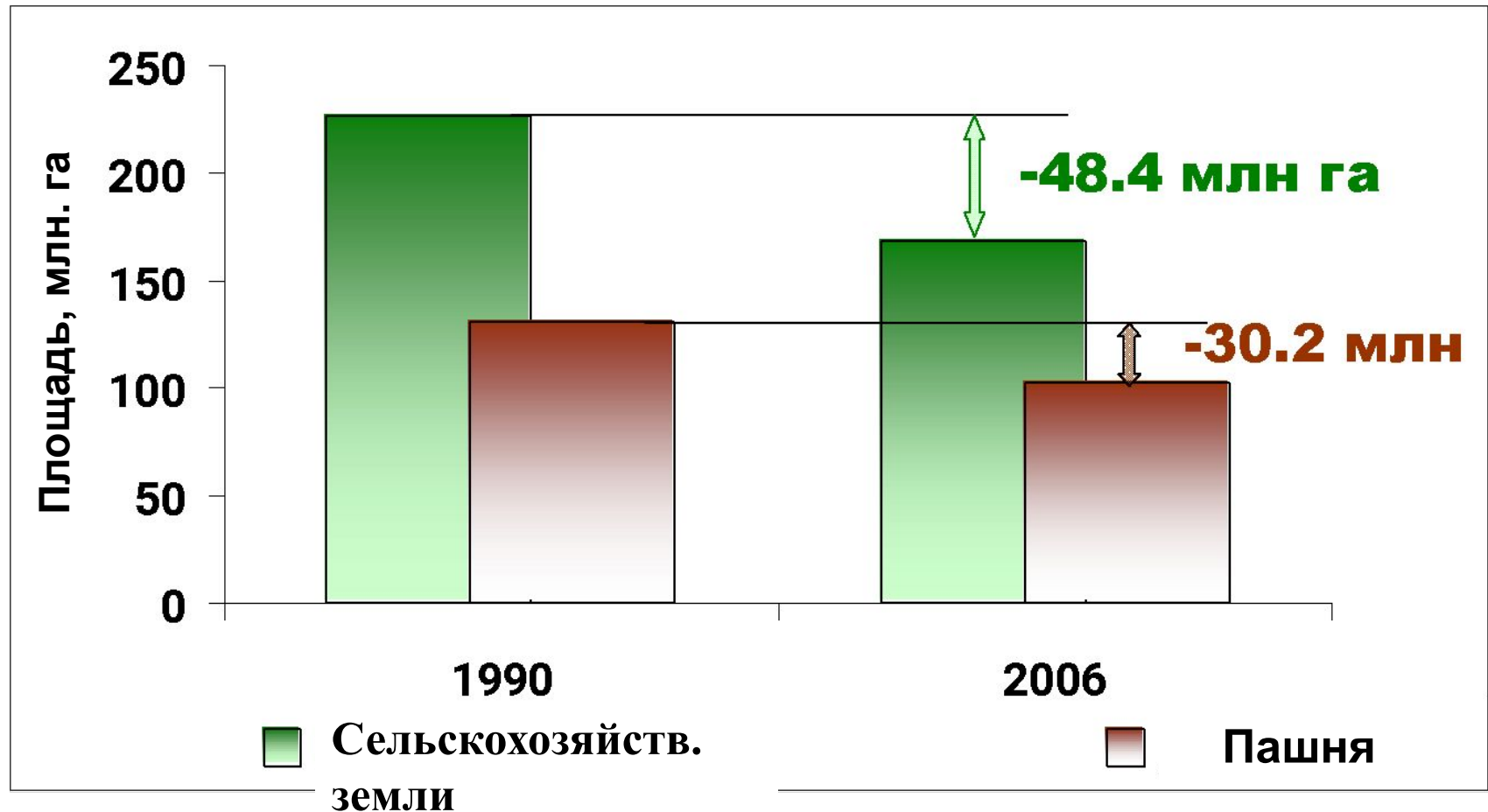
Баланс углерода в наземных экосистемах России (среднее 1990-2014 г.)



Динамика площади пахотных земель РФ за 1913-2008 гг.



Структурные изменения сельскохозяйственных земель за 1990-2006 гг.



Площадь пашни уменьшилась на 23%, а общая площадь с/х земель сократилась на 21.4% за период 1990-2006 гг.

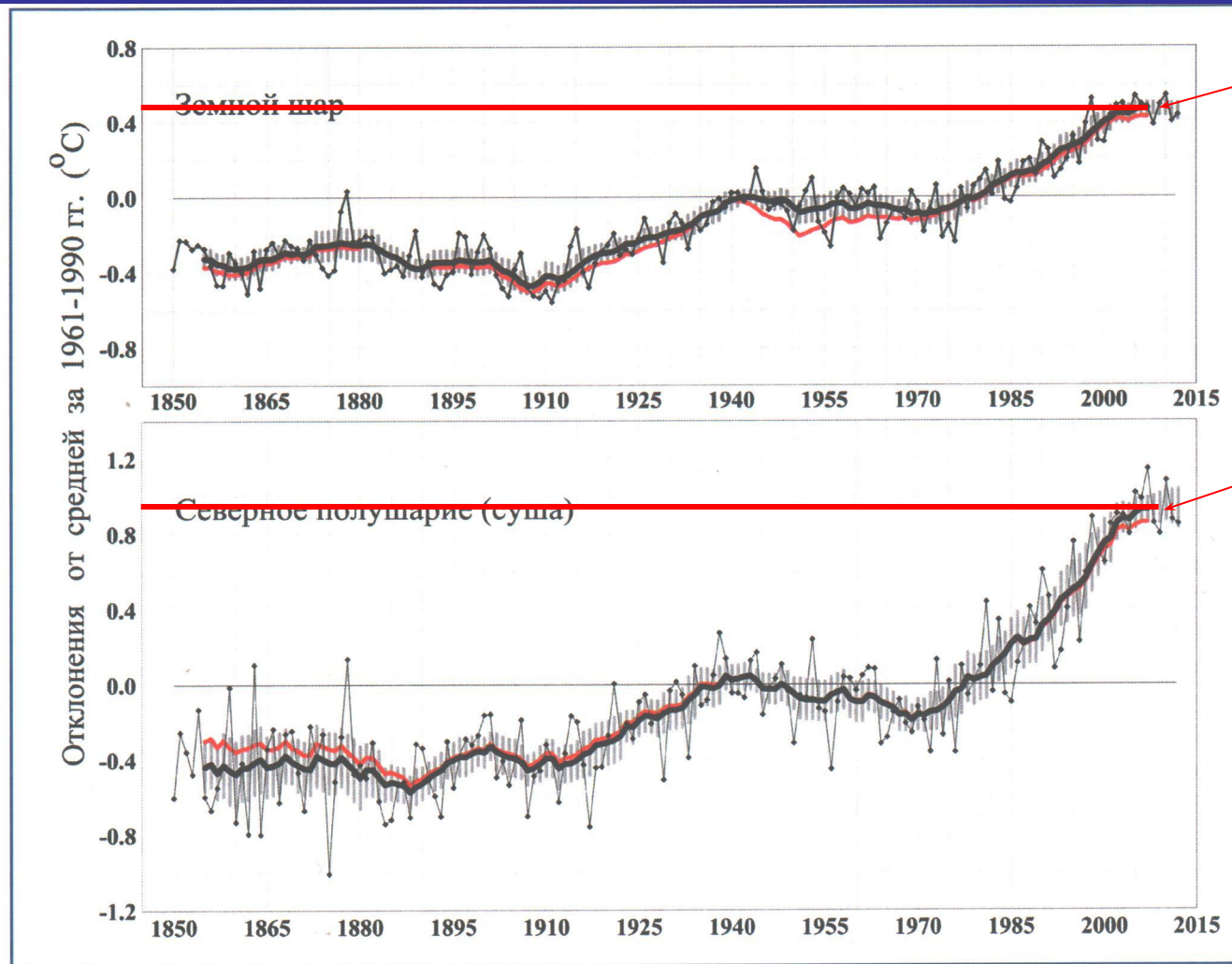
Аккумуляция С гумусовых веществах главных типов почв (0-20 см) в зависимости от возраста залежи (g C m² /yr ±SE)

Почвы	Возраст залежи, годы		
	1-15	15-30	1-77
Дероново-подзолистые	131 ±13	91 ±22	88 ±22
Серые лесные	134 ±36	76 ±26	100 ±23
Черноземы	175 ±52	129 ±44	81 ±32
Каштановые	66 ±24	не опр.	не опр.
Все почвы	132 ±21	90 ±16	91 ±14

На площади 30.4 млн. га залежных земель дополнительное секвестирование углерода в почвах оценивается в 554 млн т С за период 1990-2005 гг.

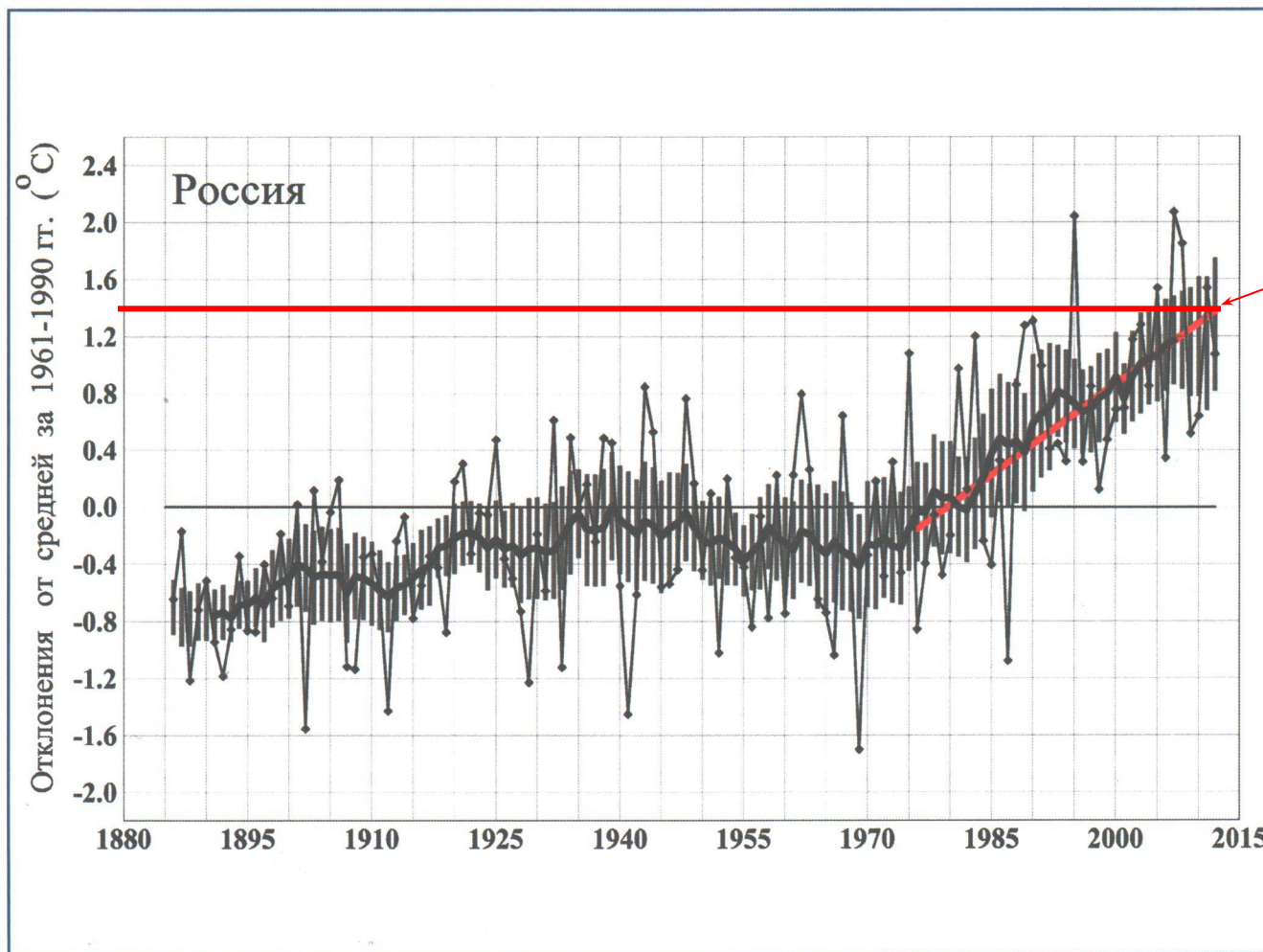
(Данные Кургановой И.Н. и Лопес-де-Гереню, 2009, 2010)

Динамика глобальной приповерхностной температуры



Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата. М. 2014

Динамика приповерхностной температуры на территории России



Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата. М. 2014

Конвенция по климату обязывает (Рио-де-Жанейро, 1992):

- уменьшать источники CO_2
- увеличивать стоки
- сохранять резервуары предшественников парниковых газов.

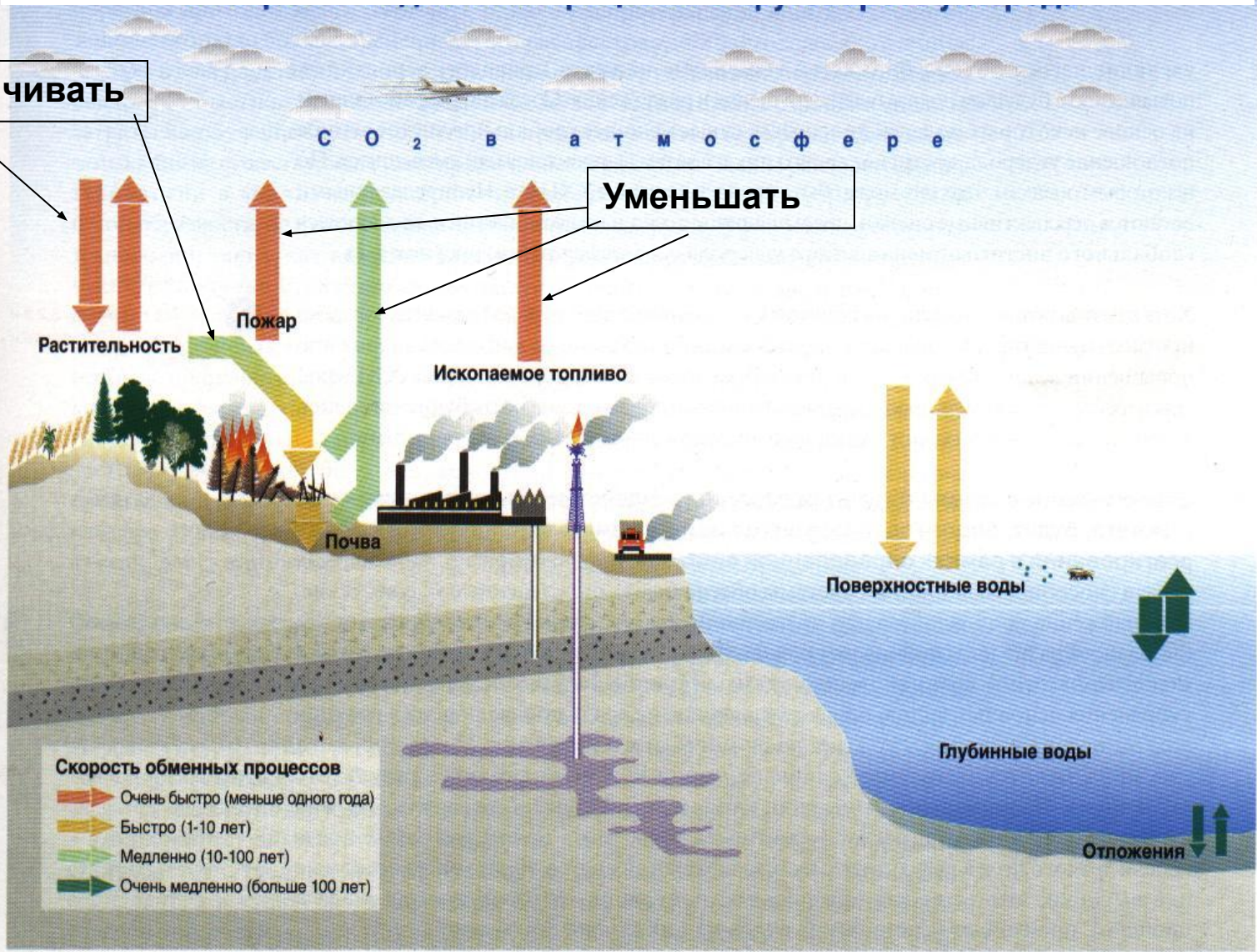
Киотский протокол обязывает (Киото, 1997):

- ограничить промышленные источники CO_2
- увеличить сток углерода в «леса Киото»

Цели Киотского Протокола

Увеличивать

Уменьшать

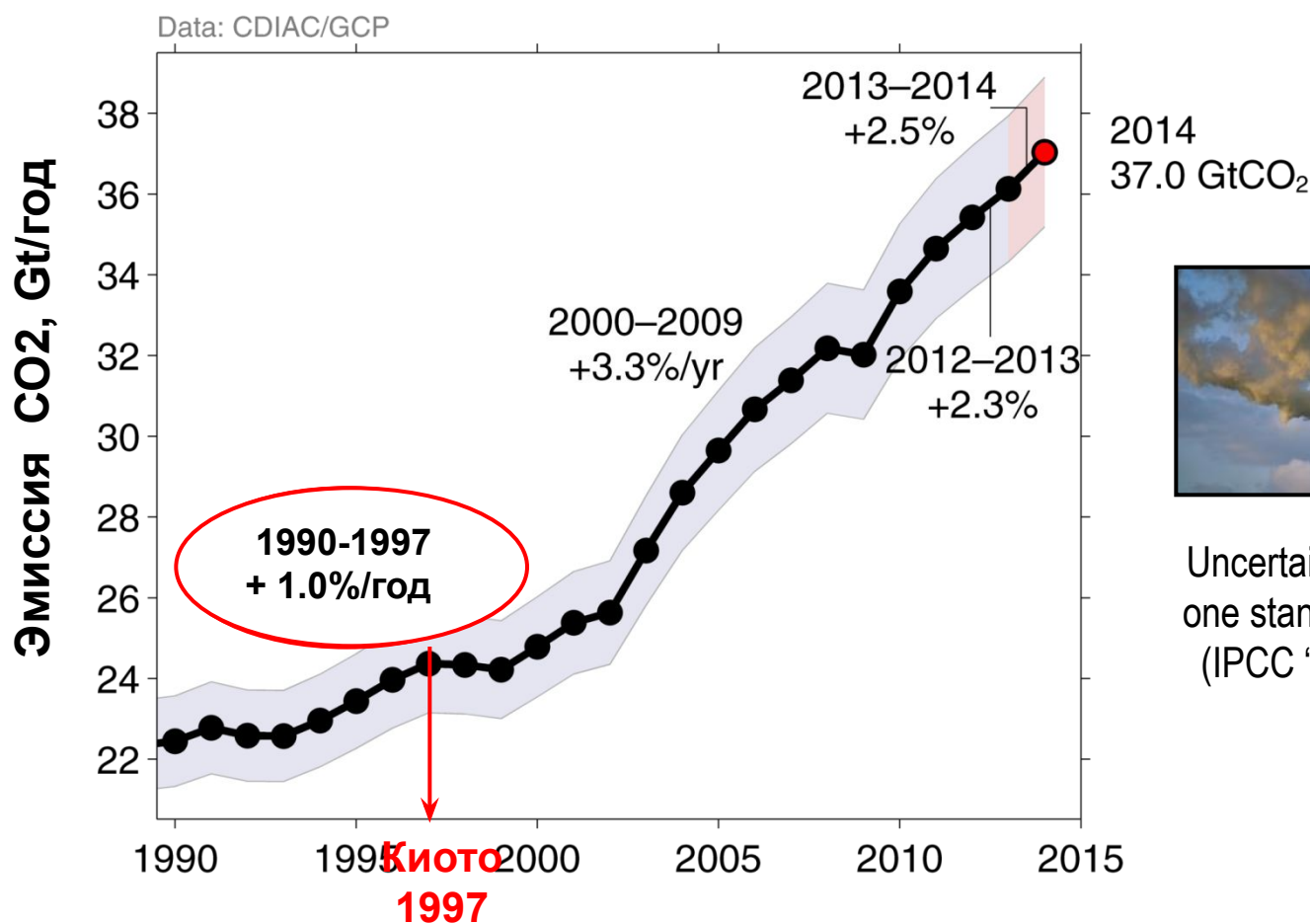


Рамочная комиссия ООН по изменению климата (РКИК)

Конечная цель РКИК ООН заключается в том, чтобы **«добиться стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему».**

- Для достижения этой цели члены РКИК ООН принимают на себя ряд обязательств. Главное из которых состоит в **«содействии рациональному использованию поглотителей и накопителей всех парниковых газов, включая биомассу, леса и океаны и другие наземные, прибрежные и морские экосистемы».**
- Однако за два с лишним десятилетия, прошедшие с момента принятия РКИК ООН, достижения на пути реализации данного пункта были крайне скромными. В основном они связаны лишь с «управляемыми» лесами развитых стран в рамках Киотского протокола.

Промышленная эмиссия CO₂ в Мире в 1990-2014 гг.



Uncertainty is $\pm 5\%$ for one standard deviation (IPCC “likely” range)

Тренд среднегодовой эмиссии CO₂ за период с 1990 по 2011 гг. млрд.т/год некоторых стран

Страна	1990	1995	2000	2006	2010	2011	2011/1990, % [*]
США	4.99	5.26	5.87	5.84	5.53	5.42	9
ЕС (27)	4.32	4.08	4.06	4.21	3.91	3.79	-12
Китай	2.51	3.52	3.56	6.51	8.90	9.20	287
Индия	0.66	0.87	1.06	1.38	1.86	1.97	198
Россия	2.44	1.75	1.66	1.79	1.78	1.83	-25
Япония	1.16	1.25	1.28	1.30	1.26	1.24	7
Азиатские страны [*]	0.71	1.07	1.31	1.61	1.81	1.84	159
Другие страны ^{**}	1.83	2.24	2.69	3.37	3.93	4.10	124
Все страны	22.7	23.6	23.4	30.3	33.0	33.9	49

^{*} Киотским протоколом (1997 г.) предусматривалось , что присоединившиеся к нему страны берут на себя обязательства стремиться к ограничению выбросов парниковых газов на уровне 1990 г.

^{*}Азиатские страны: Индонезия, Сингапур, Таиланд, Южная Корея и Тайвань).

^{**}Другие крупные развивающиеся страны (Бразилия, Мексика, Южная Африка, Саудовская Аравия, Индия и Иран).

Источник: Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата. М. 2014