

Биогеохимический цикл углерода болотных экосистем

Головацкая Евгения Александровна

*Институт мониторинга климатических и экологических
систем СО РАН*

17.02.2022

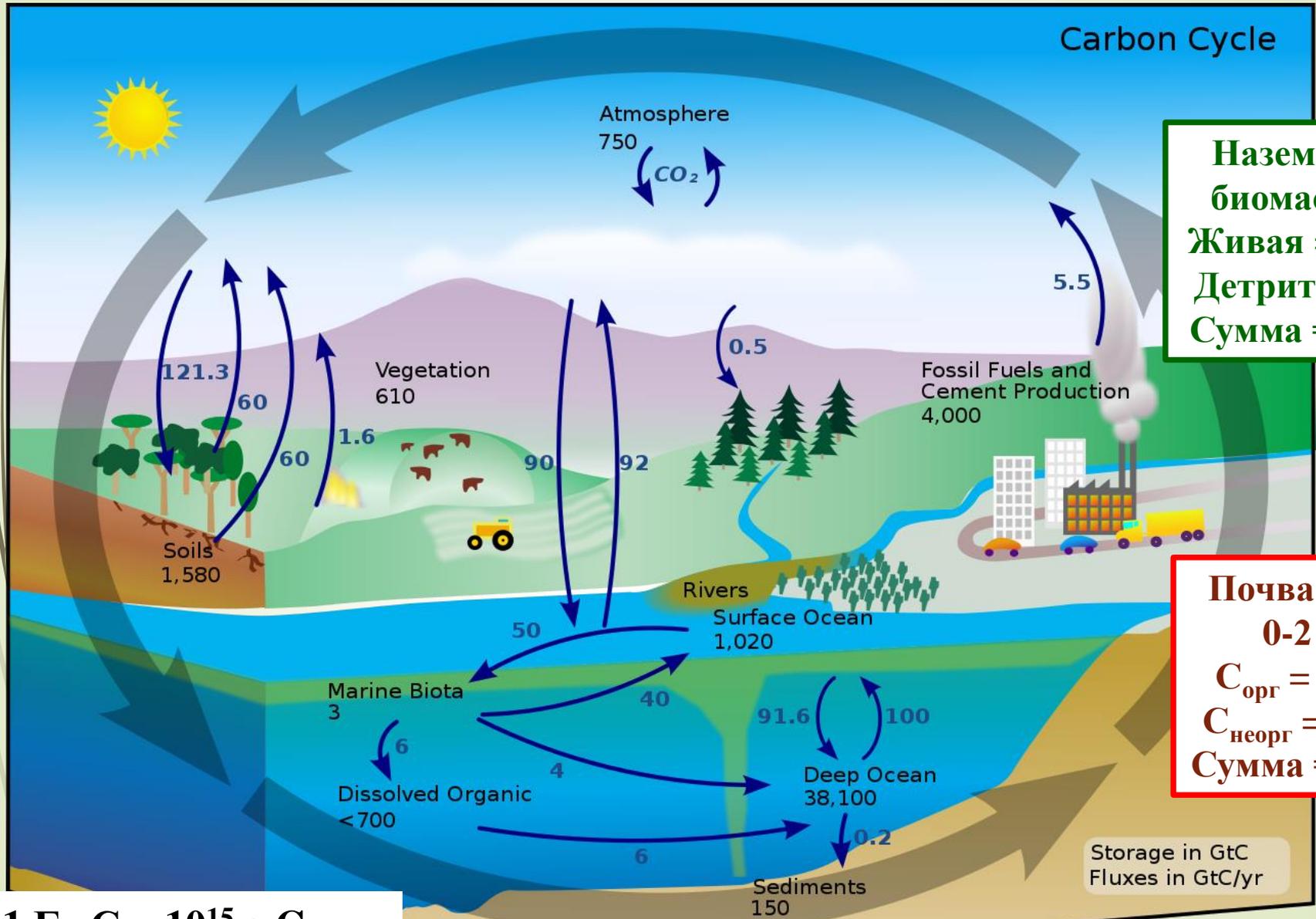
Роль наземных экосистем России в формировании глобальных пулов, потоков и баланса CO₂

Углеродный обмен между наземными экосистемами и атмосферой является одним из основных природных процессов, необходимость количественной оценки которого диктуется условиями Рамочной конвенции по климату, Киотского протокола и пост-киотских климатических соглашений.

Россия, занимающая более 1/9 части суши (11.5%) и имея огромные площади, занятые лесами и болотами, играет существенную роль в формировании углеродного баланса наземных экосистем нашей планеты, а также почвенного резервуара углерода.

Углекислый газ атмосферы примерно на 25-40% имеет почвенное происхождение, а сам почвенный покров, занимает ключевую позицию в биосферном круговороте углерода.

Биогеохимический цикл углерода



Наземная биомасса:
 Живая = 560
 Детрит = 60
 Сумма = 620

Почва слой 0-2 м
 $C_{\text{орг}} = 2047$
 $C_{\text{неорг}} = 1588$
 Сумма = 3605

1 ГТ С = 10^{15} г С

Биогеохимический цикл углерода

- ✓ Пространственная и временная неоднородность
- ✓ Высокая степень неопределенности экспериментальных данных, обусловленная разными методами и подходами
- ✓ Фрагментарность экспериментальных оценок, не позволяющая получить корректные оценки при их обобщении даже на региональном уровне

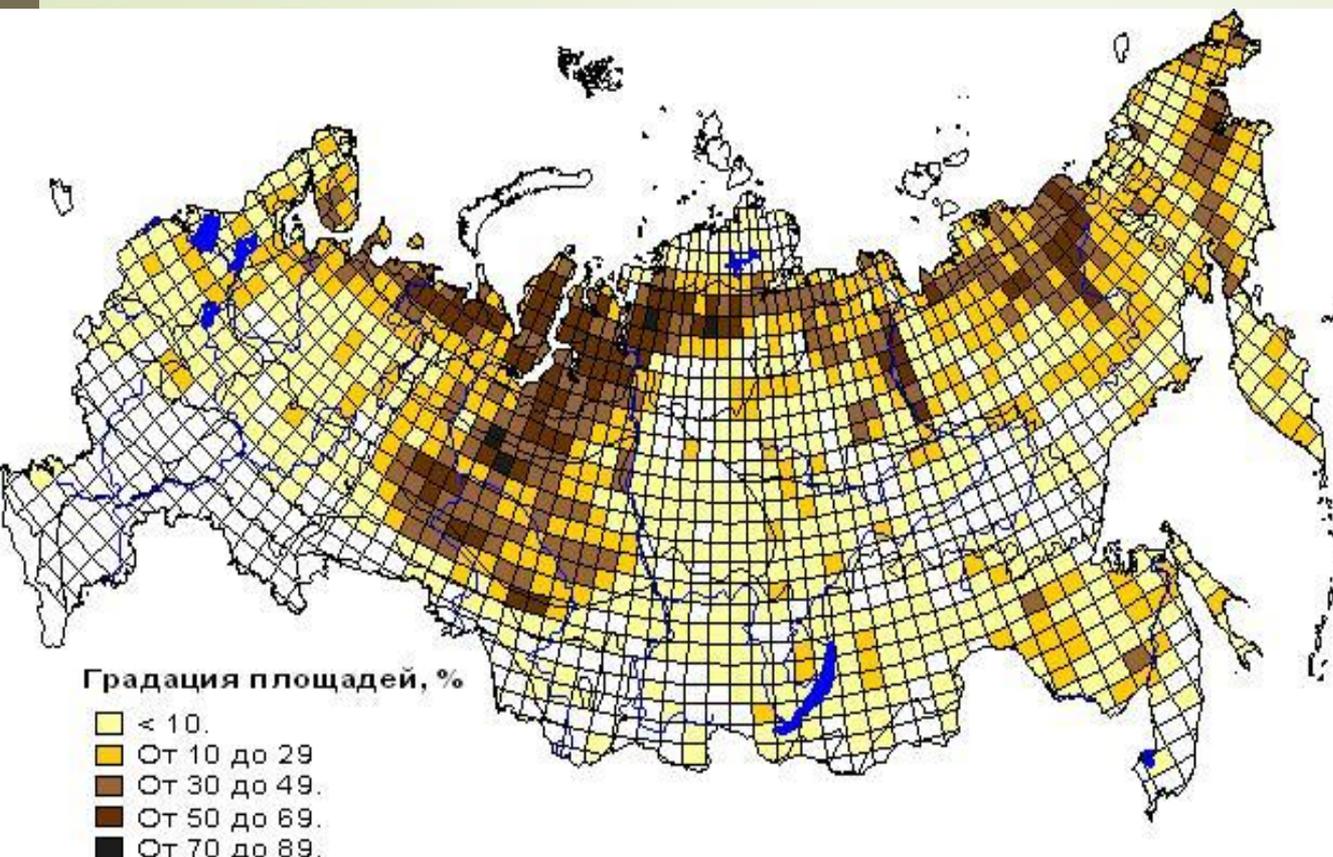
Необходимо:

Организация системы мониторинга

Привлечение данных дистанционного зондирования

Моделирование

Болотные экосистемы России



Площадь болот с глубиной торфа более 30 см в % от площади территории (Вомперский и др., 1999)

В настоящее время естественные болотные экосистемы служат в основном стоком углерода из атмосферы, о чем свидетельствуют многочисленные оценки.

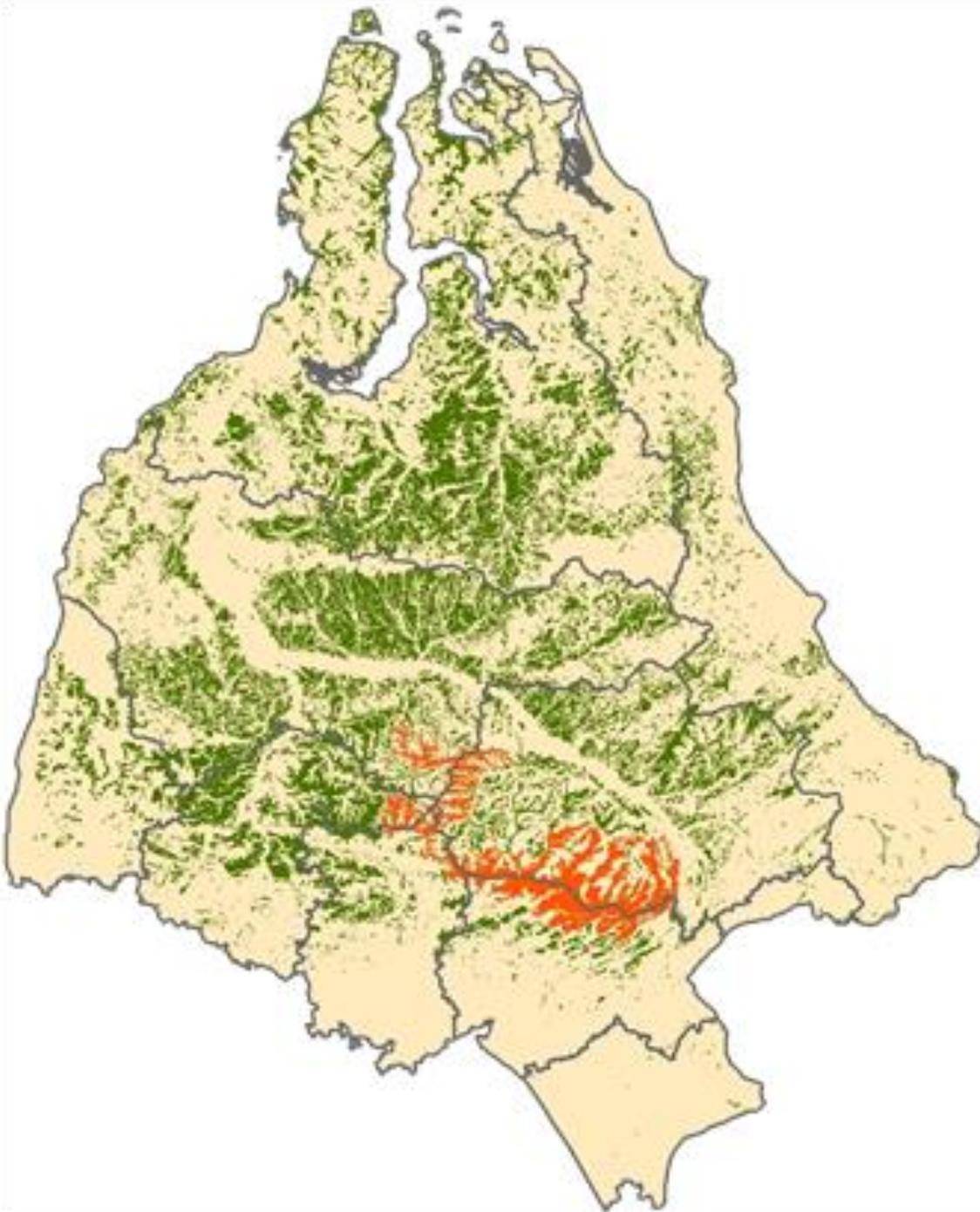
При изменении климатических условий или антропогенном воздействии болота из стока могут превратиться в источник парниковых газов.

Болота Западной Сибири

Площадь - 592 440 км²

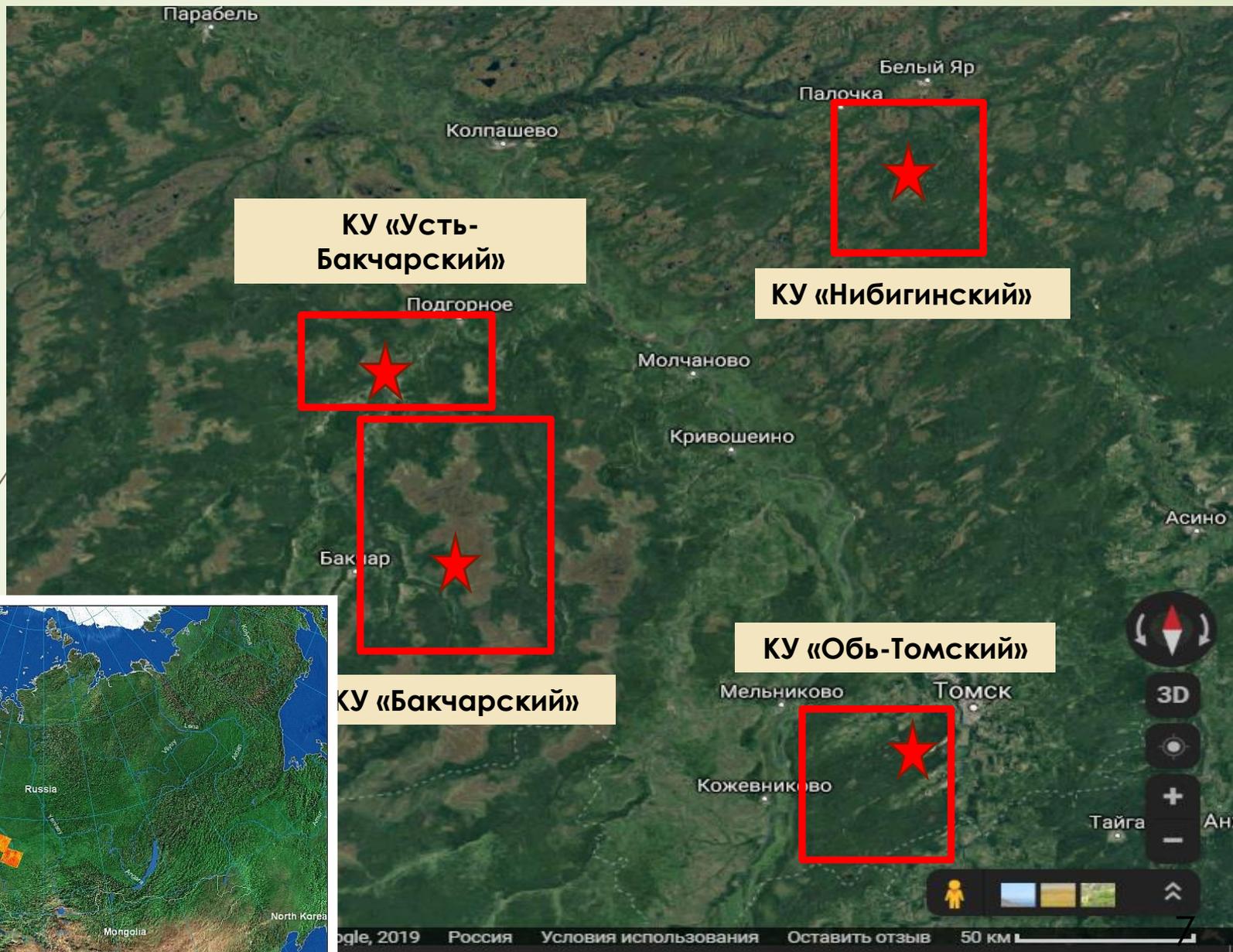
Запасы торфа - 148 Гт

Запасы углерода - 70 Гт С



Sheng, Y., L. C. Smith, G. M. MacDonald, K. V. Kremenetski, K. E. Frey, A.A. Velichko, M. Lee, D. W. Beilman, and P. Dubinin (2004), A high-resolution GIS-based inventory of the west Siberian peat carbon pool // *Global Biogeochem. Cycles*, 68, GB3004, doi:10.1029/2003GB002190.

Объекты исследования



Олиготрофное болото «Бакчарское»



Высокий ряб – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз - ВР



Низкий ряб – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз - НР



Грядово-мочажинный комплекс - ГМКГ; ГМКМ



Осоково-сфагновая топь - ОТ

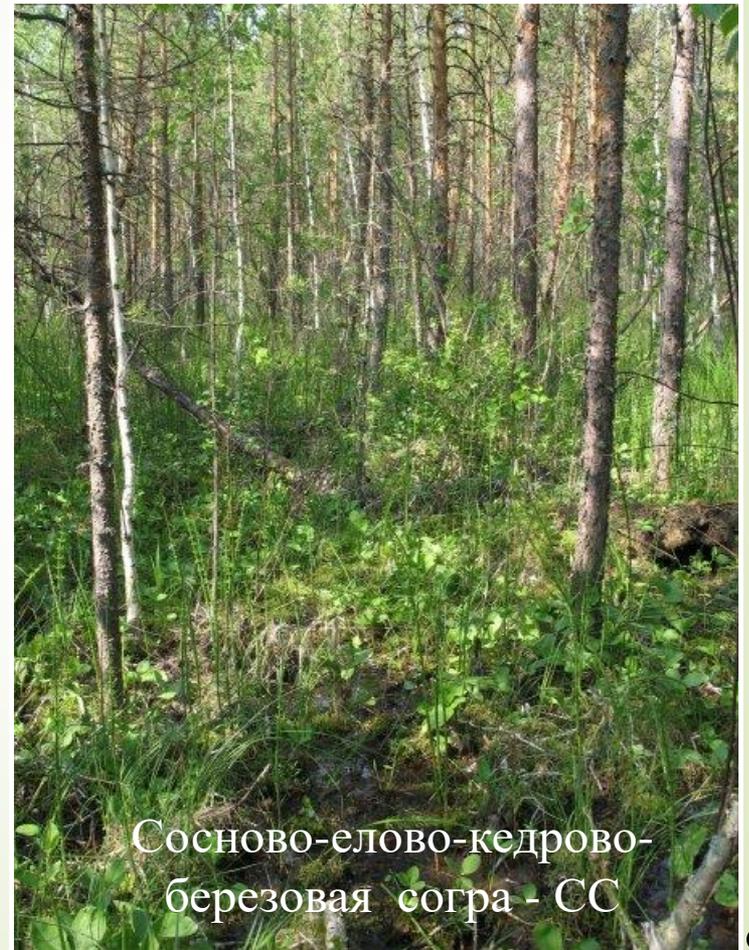
Эвтрофное болото «Самара»



Осоково-кустарничковый фитоценоз -
СО



Ерниково-осоковый фитоценоз -
СЕ



Сосново-елово-кедрово-
березовая согра - СС

Ключевой участок «Тимирязевский»



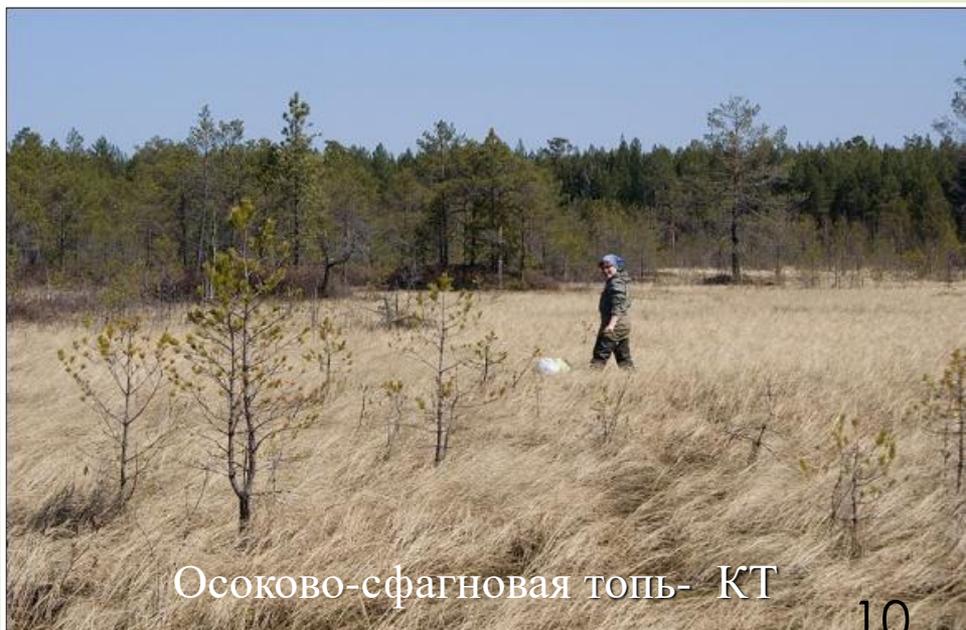
Сосново-кустарничково-сфагновый
фитоценоз - ТР



Сосново-кустарничково-сфагновый
фитоценоз - КР



Осоково-сфагновая топь - ТТ

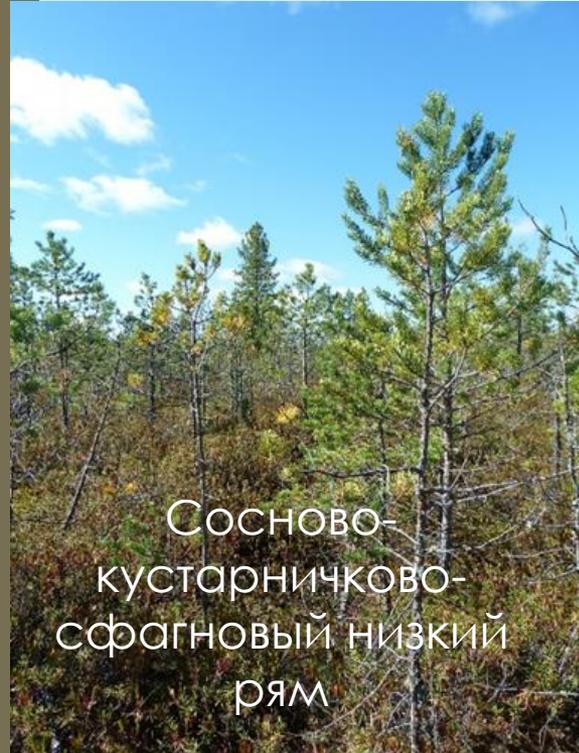


Осоково-сфагновая топь- КТ

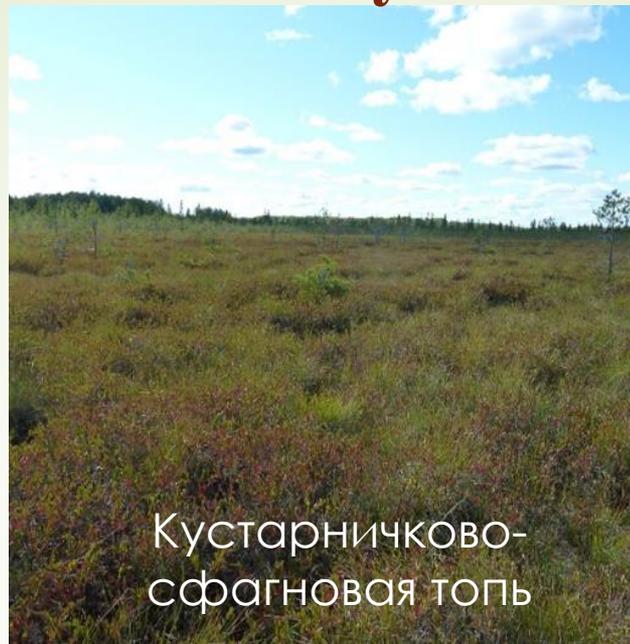
«Тимирязевское» болото

«Кирсановское» болото

Ключевой участок «Усть-Бакчарский»



Сосново-кустарничково-сфагновый низкий рям



Кустарничково-сфагновая топь



Шейхцериево-сфагновая топь

Осушенное болото



Кустарничково-сфагновый фитоценоз



Сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз после пожара

Ключевой участок «Нибигинский»

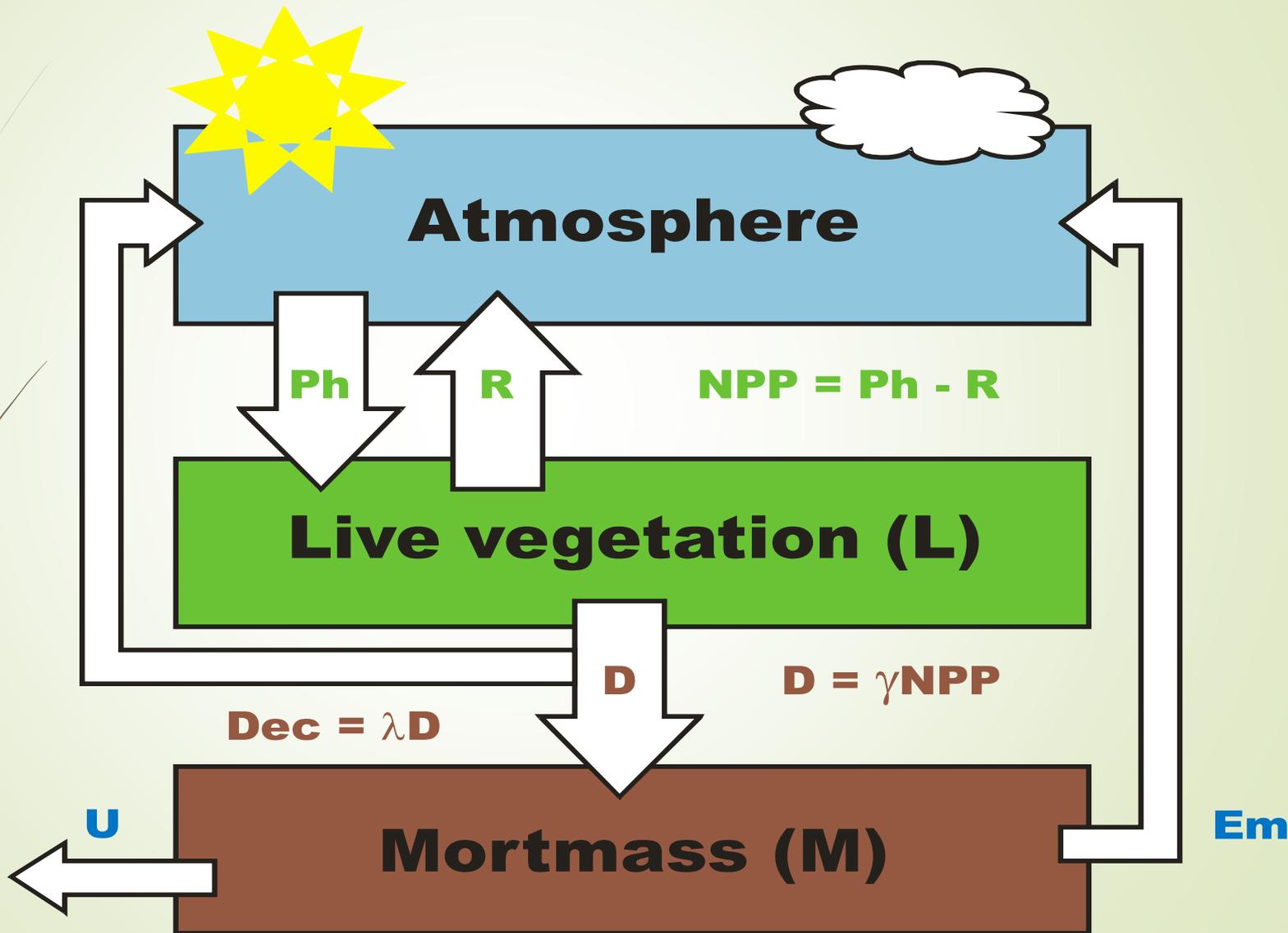


Грядово-крупномочажинный комплекс (болото Центральное)



Сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз (болото Центральное)

Схема углеродного цикла



Методы исследования

Биологическая
продуктивность



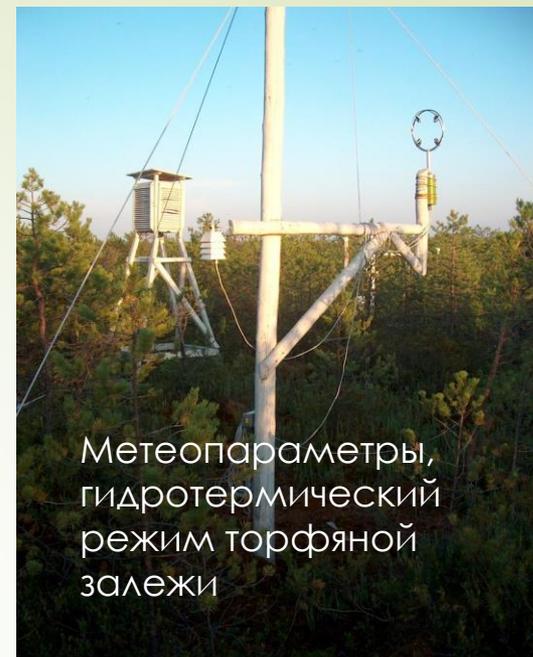
Определение скорости
разложения



Эмиссия CO₂



Лабораторные
эксперименты



Метеопараметры,
гидротермический
режим торфяной
залежи



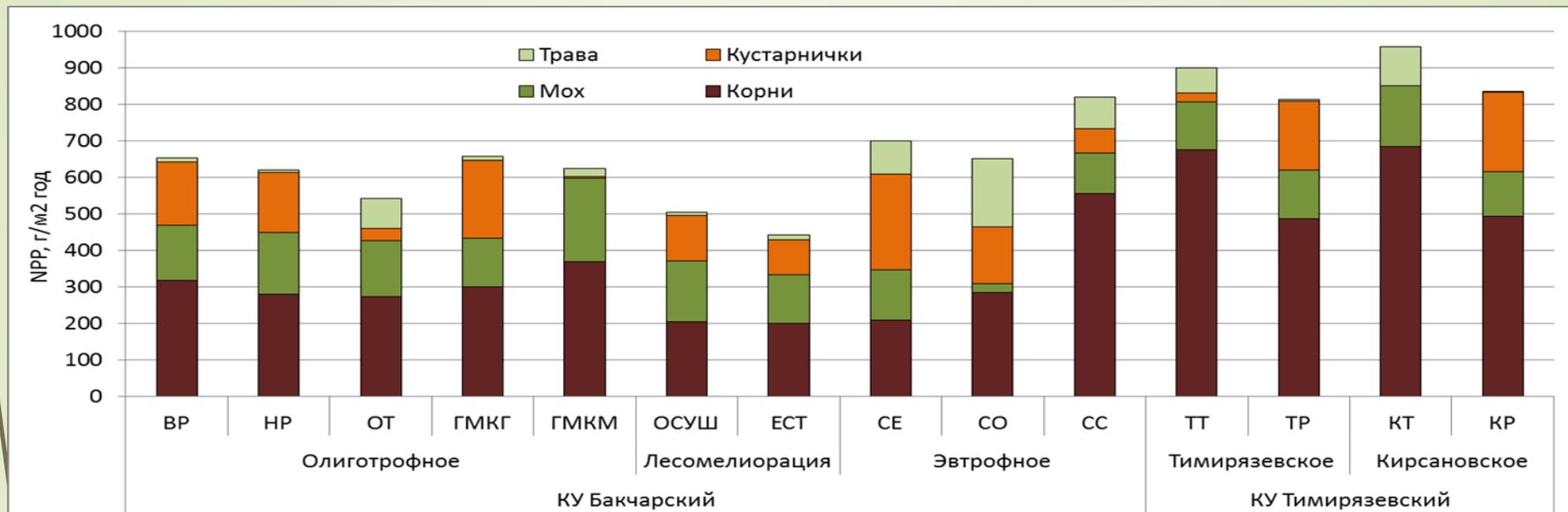
Отбор образцов торфа



Геоботанические
описания, нивелировка
поверхности,
зондирование торфяной
залежи

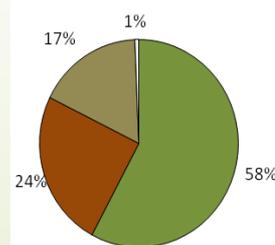
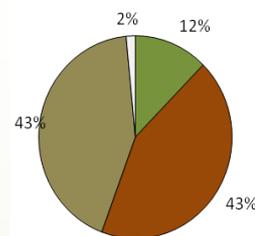


Чистая первичная продукция – входящий поток



Коэффициенты корреляции между NPP и гидротермическими параметрами

Фито-ценоз	Температура воздуха	Количество осадков	ГТК	УБВ
ВР	0,64	-0,50	-0,31	0,57
НР	-	-0,65	-0,37	-0,30
ОТ	0,69	-	-	-
СЕ	-0,44	-	-	-0,56

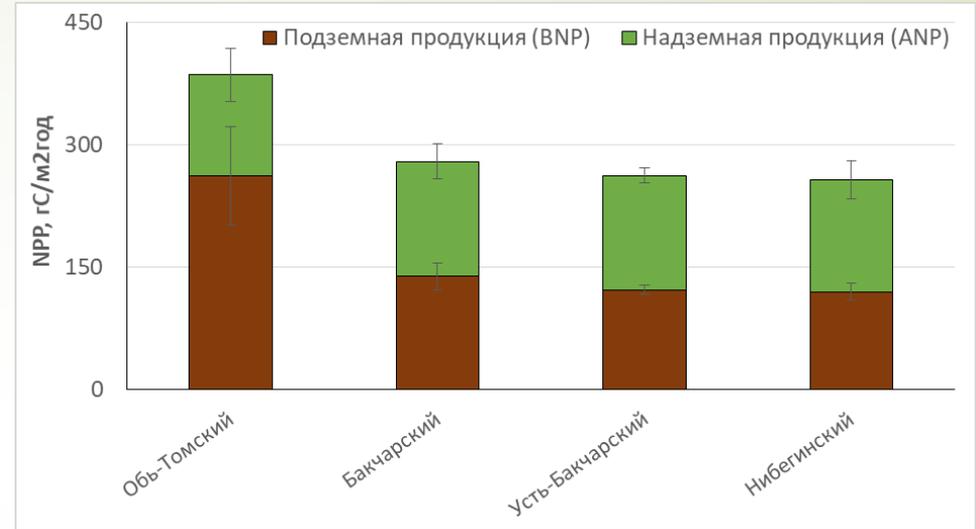
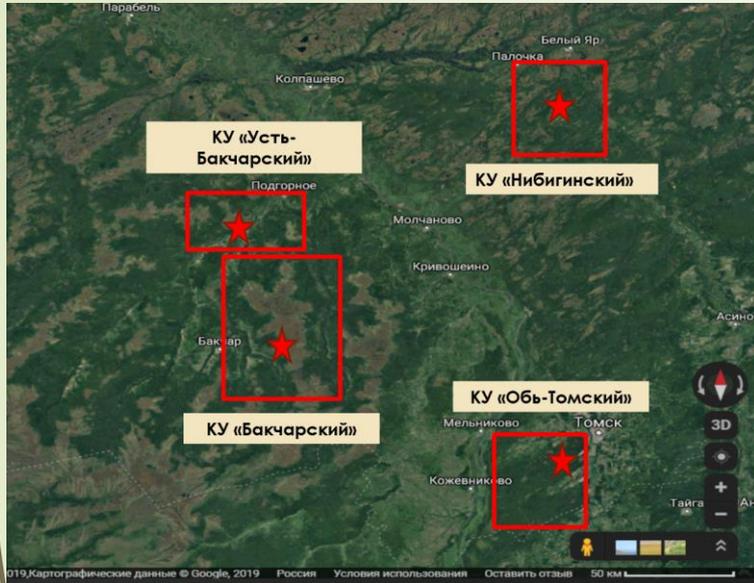


Недооценка поглощения углерода болотными экосистемами при неучете древесного яруса может достигать **12-58 %** .

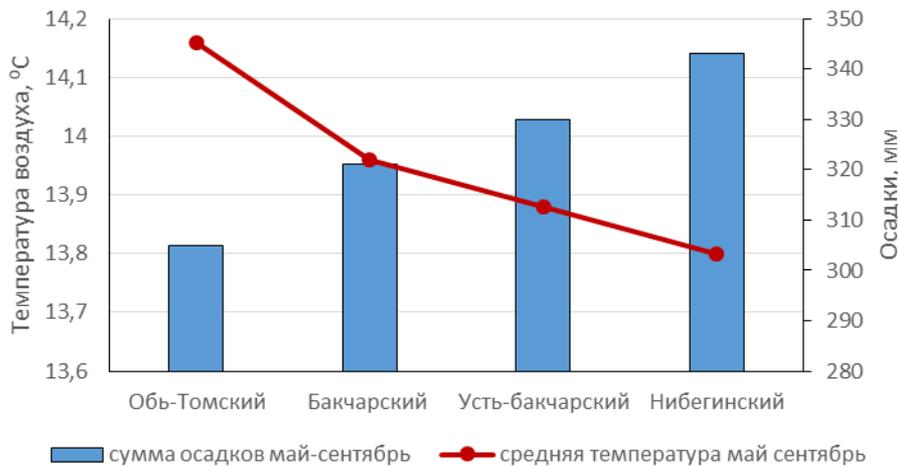


Чистая первичная продукция – входящий поток

В направлении с юга на север чистая первичная продукция снижается на нативных болотах.



Погодные условия

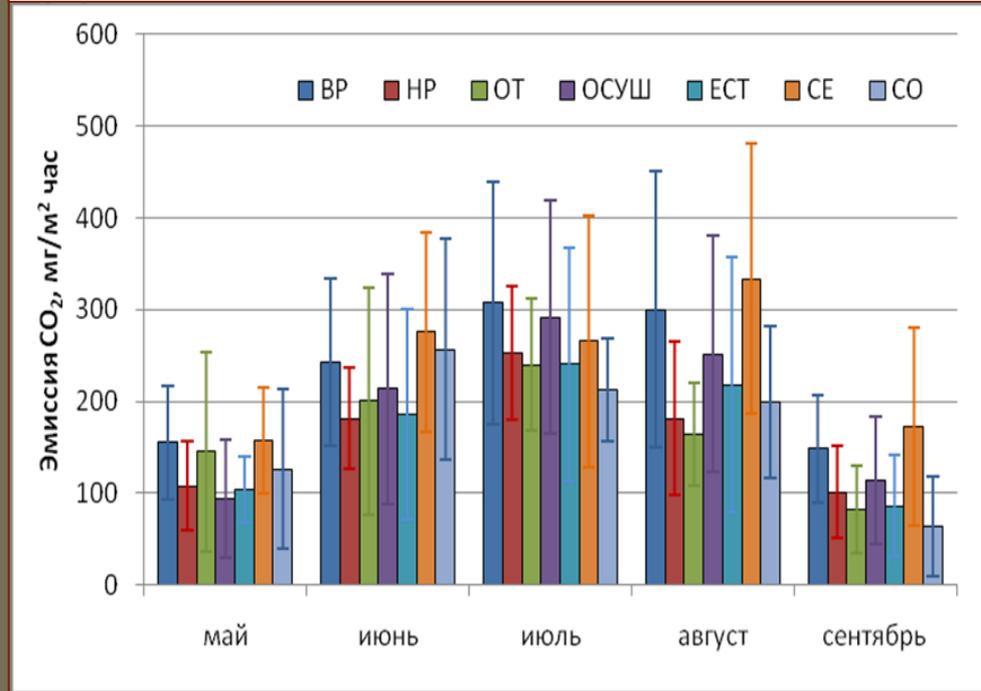
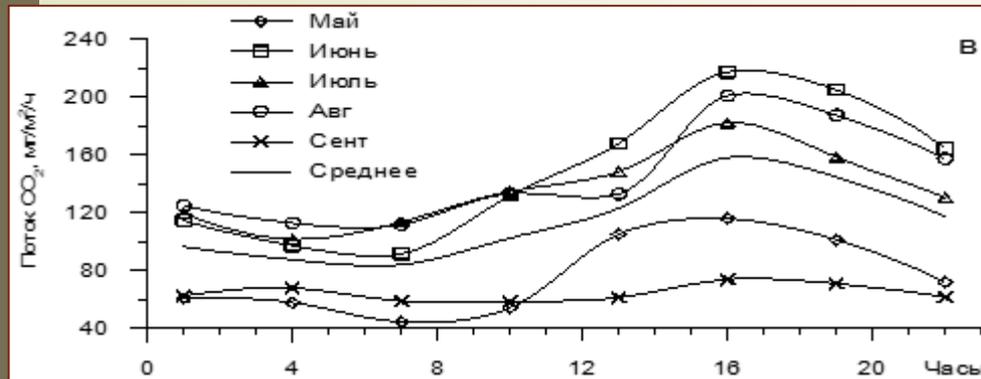


Коэффициенты корреляции между продукцией и погодными условиями

	Средняя температура воздуха (май-сентябрь)	Сумма осадков (май-сентябрь)
Надземная продукция (ANP)	0,83	-0,92
Подземная продукция (BNP)	0,95	-0,88

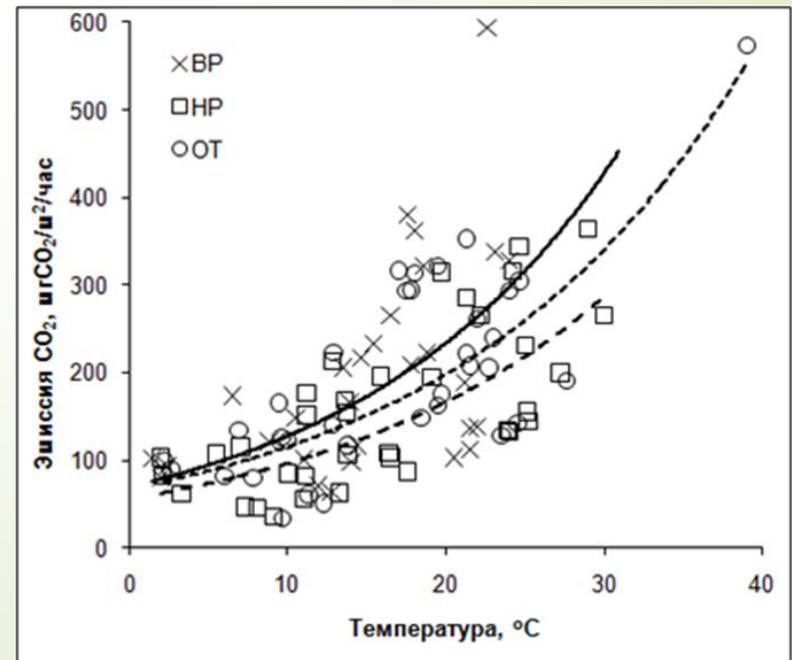
Эмиссия CO₂ с поверхности торфяной залежи

Суточная и сезонная динамика



Использование только дневных измерений потока CO₂ при вычислении ежегодной эмиссии CO₂ приводит к переоценке потоков CO₂ на 20–50 %.

Наиболее значимым фактором, влияющим на интенсивность эмиссии CO₂ является температура воздуха и торфяной залежи.



Эмиссия CO₂ с поверхности торфяной залежи

Эмпирические модели и температурные коэффициенты Q₁₀, отражающие взаимосвязь между интенсивностью эмиссии CO₂ и температурой воздуха

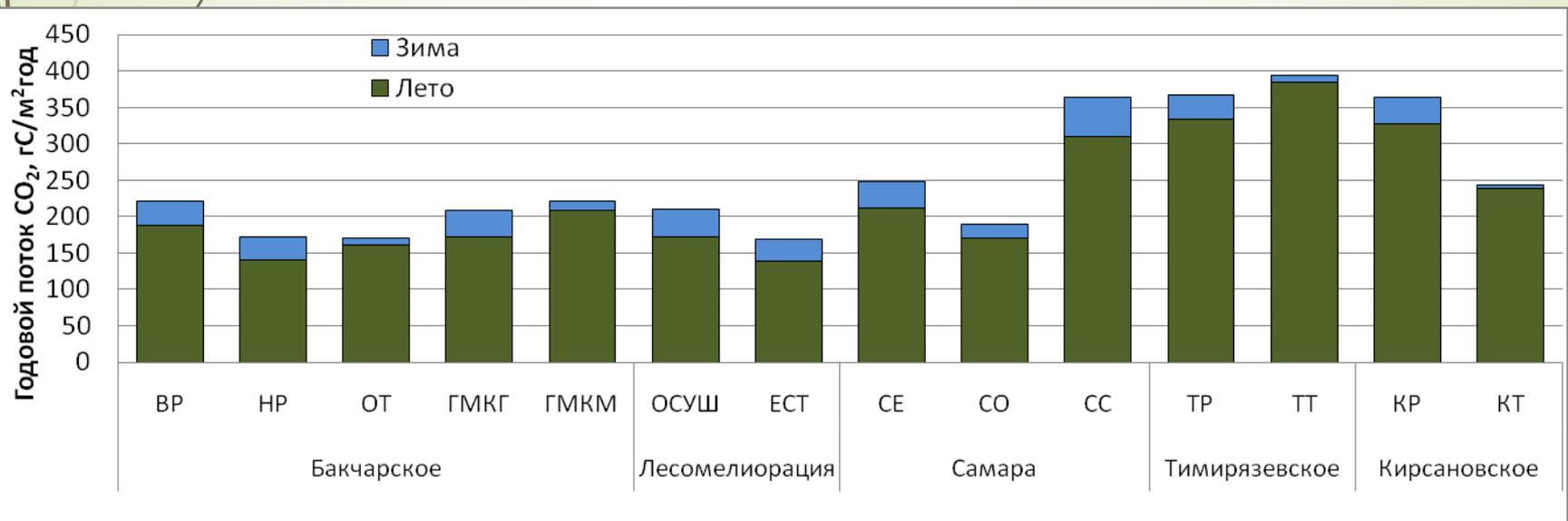
	Фитоценоз	Число измерений	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, R ²	Q ₁₀
Бакcharское болото	Высокий рям	72	$F=69,89e^{0,060x}$	0,44	1,8
	Низкий рям	77	$F=56,06e^{0,054x}$	0,49	1,7
	Открытая топь	72	$F=67,45e^{0,054x}$	0,47	1,7
	ГМКГ	15	$F=73,76e^{0,062x}$	0,52	1,9
	ГМКМ	15	$F=64,66e^{0,059x}$	0,47	1,8
т.м. Васюганское	Осуш	50	$F=27,94e^{0,116x}$	0,41	3,2
	Ест	38	$F=33,34e^{0,089x}$	0,43	2,4
Эвтрофное болото Самара	СЕ	35	$F=54,51e^{0,084x}$	0,43	2,3
	СО	35	$F=32,24e^{0,107x}$	0,63	2,9
	СС	20	$F=86,59e^{0,080x}$	0,48	2,2
Тимирязевское	ТТ	29	$F=132,44e^{0,056x}$	0,51	1,8
	ТР	28	$F=89,35e^{0,062x}$	0,53	1,9
Кирсановское	КТ	26	$F=43,71e^{0,070x}$	0,51	2,0
	КР	28	$F=58,87e^{0,091x}$	0,63	2,5

Эмиссия CO₂ с поверхности торфяной залежи

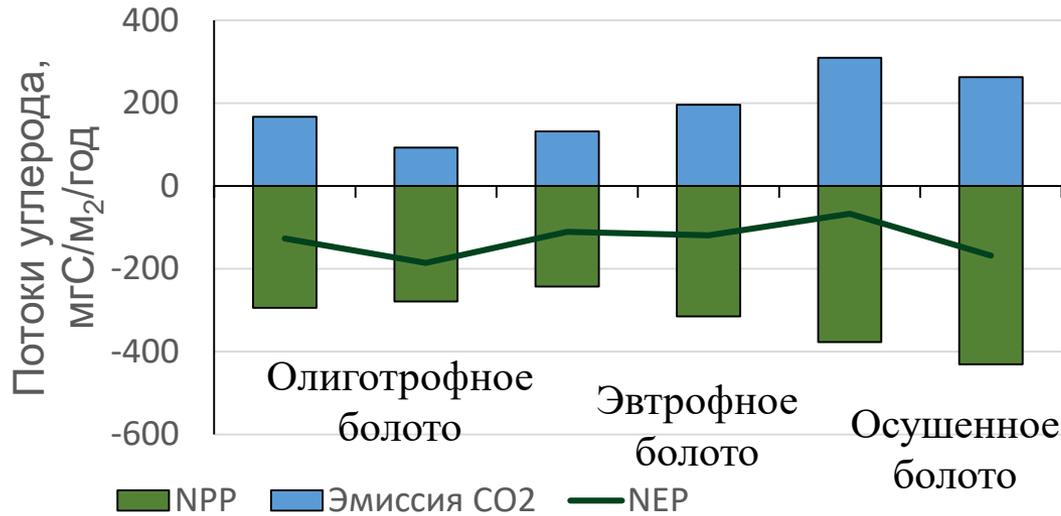
Эмиссия CO₂ в зимний период на Тимирязевском (ноябрь 2010 г.) и Бакчарском болотах (март 2012 г.)

	Тимирязевское		Бакчарское	
	ТР	ТТ	НР	ОТ
CO ₂ , мг/м ² час	24,2±19,1	7,0±3,6	27,1±10,2	7,5±4,2
Т поверхности торфа, °С	-1,6	-0,2	-1,0	-0,9
Т воздуха, °С	-6,0	-6,8	-0,1	-0,4
Глубина залегания льда, см	25	10	15	0
Высота снежного покрова, см	30	20	50	50

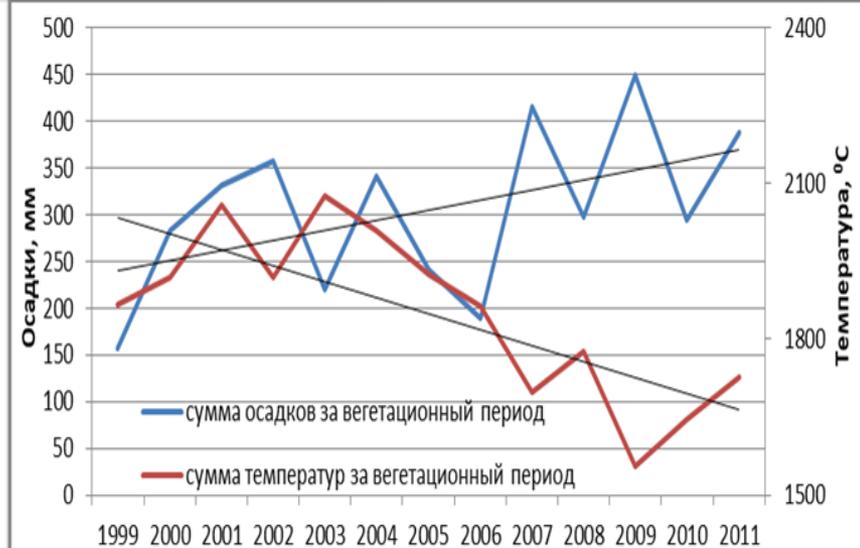
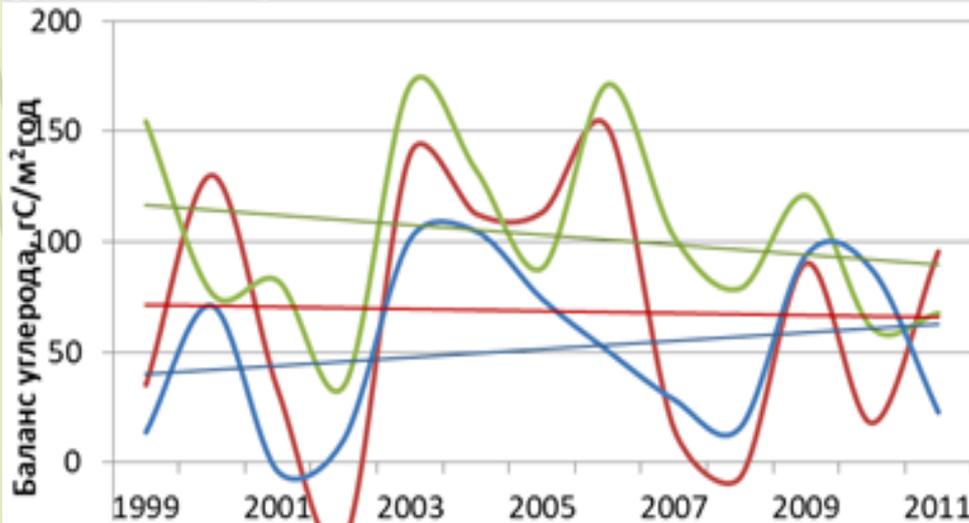
Суммарный годовой поток CO₂ с поверхности торфяной залежи



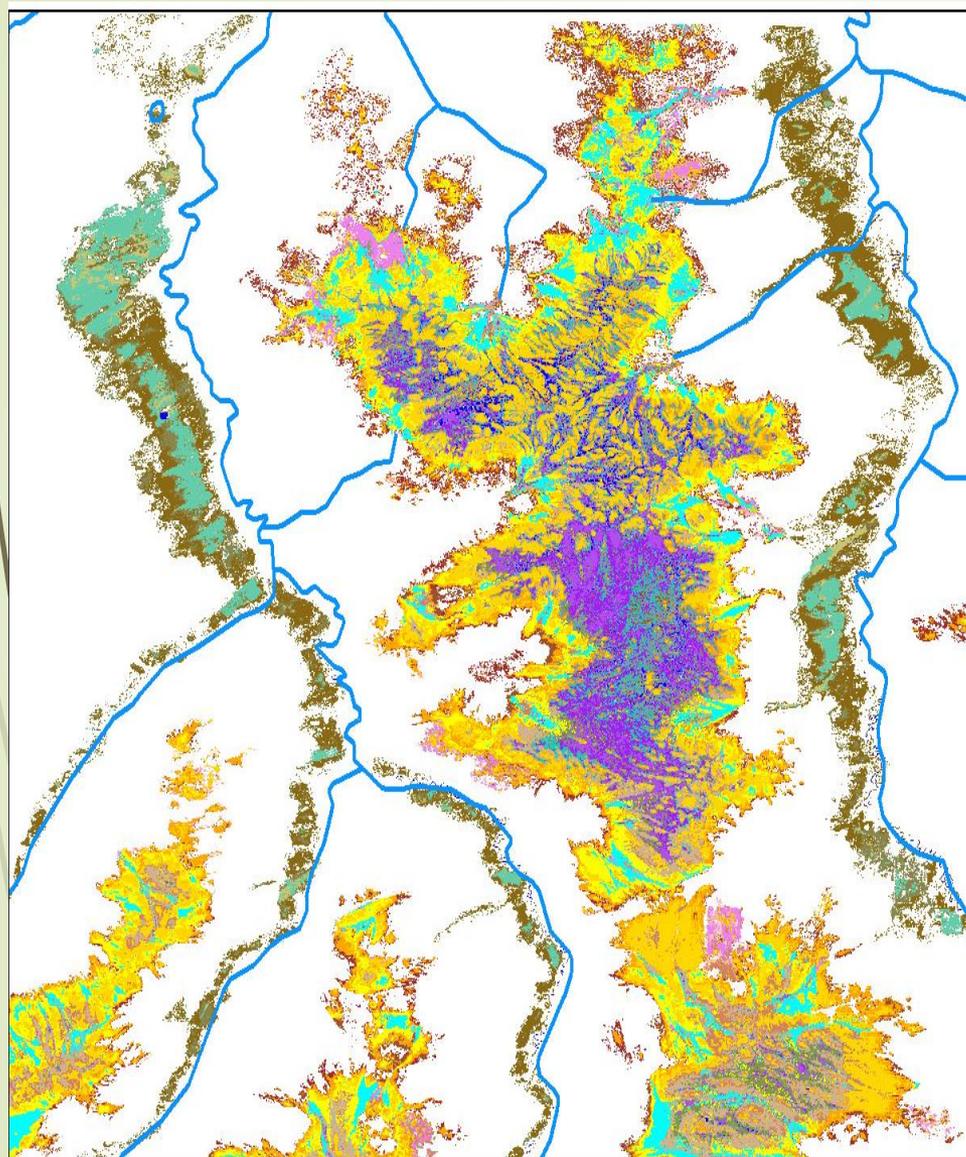
Баланс углерода болотных экосистем



Исследованные болотные фитоценозы являются стоком С из атмосферы. Динамика баланса углерода в период 1999–2011 гг. не имеет значимого тренда изменения при высокой межгодовой изменчивости



Региональная оценка баланса углерода на примере КУ «Бакчарский»

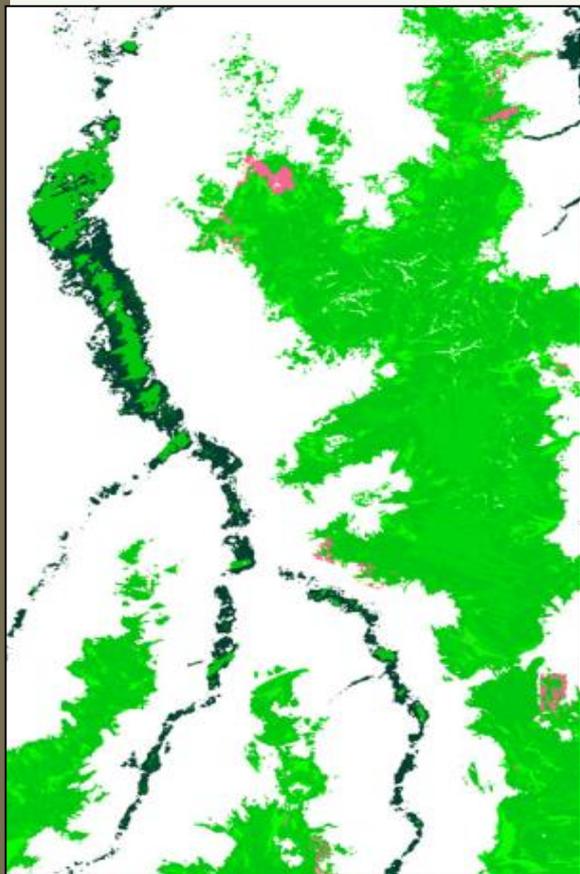


Фитоценоз	Площадь	
	га	%
1	8 149	3,8
2	8 324	3,9
3	22 237	10,5
4	32 334	15,3
5	26 266	12,4
6	6 051	2,9
7	12 390	5,8
8	1 893	0,9
9	3 298	1,6
10	4 113	1,9
11	8 549	4,0
12	5 134	2,4
13	8 870	4,2
14	3 819	1,8
15	12 900	6,1
16	2 141	1,0
17	4 981	2,4
18	8 363	3,9
19	32 084	15,1
ИТОГО площадь болот	211 895	21

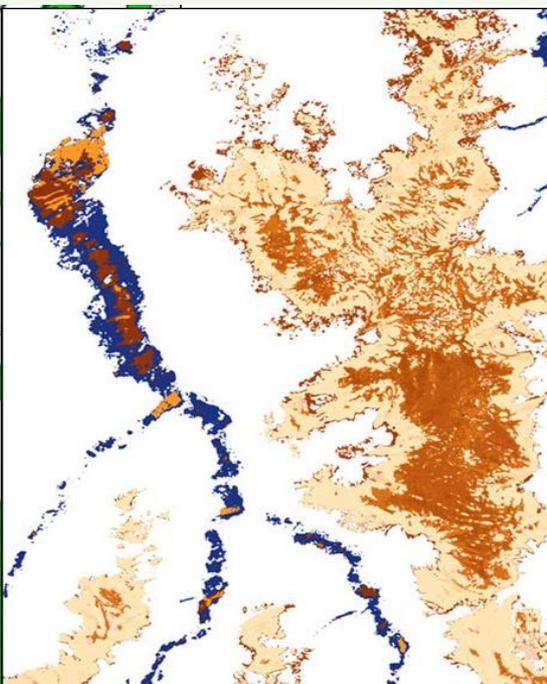
Болотные экосистемы КУ «Бакчарский»

Региональная оценка баланса углерода на примере КУ «Бакчарский»

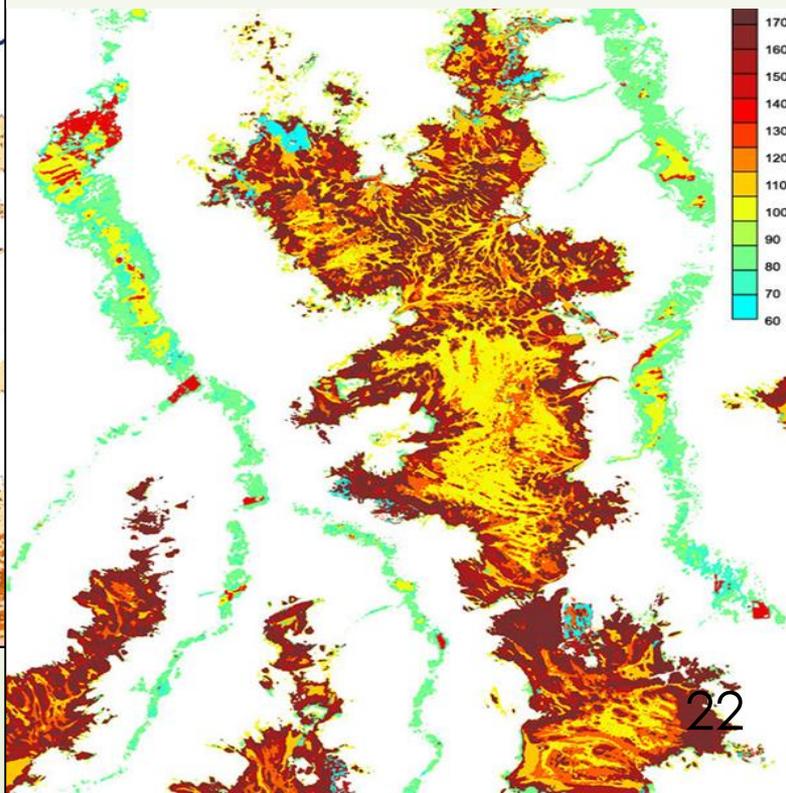
Карта чистой первичной продукции



Карта суммарного потока углерода с поверхности торфяной залежи

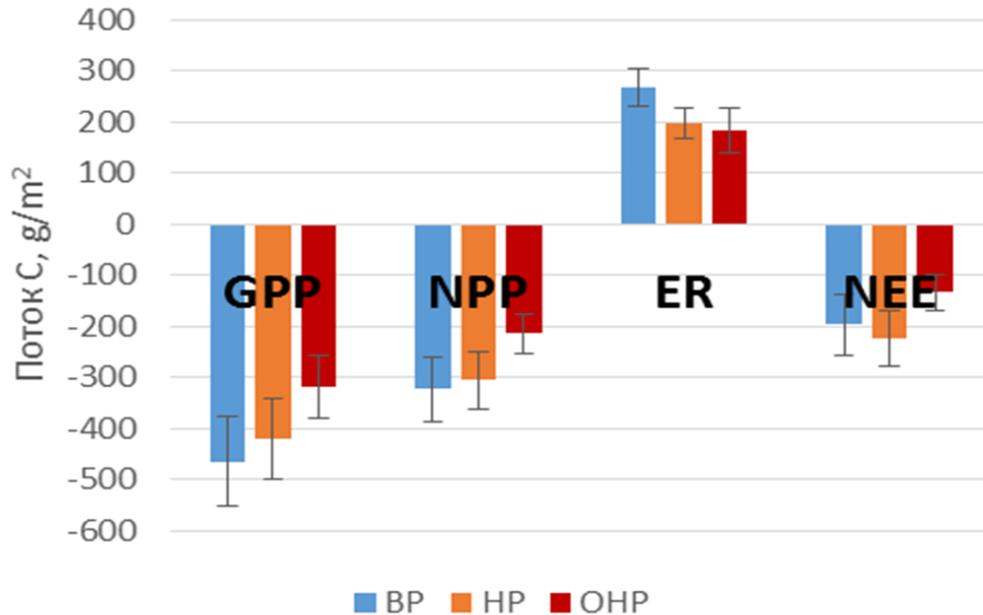


Карта баланса углерода



Ежегодное поглощение углерода болотными экосистемами ключевого участка «Бакчарский» площадью 212 тыс. га составляет около 300 тыс. тонн.

Моделирование углеродного баланса болотных экосистем



$$NEE = GPP - ER$$

$$ER = HR + AR$$

$$NPP = GPP - AR$$

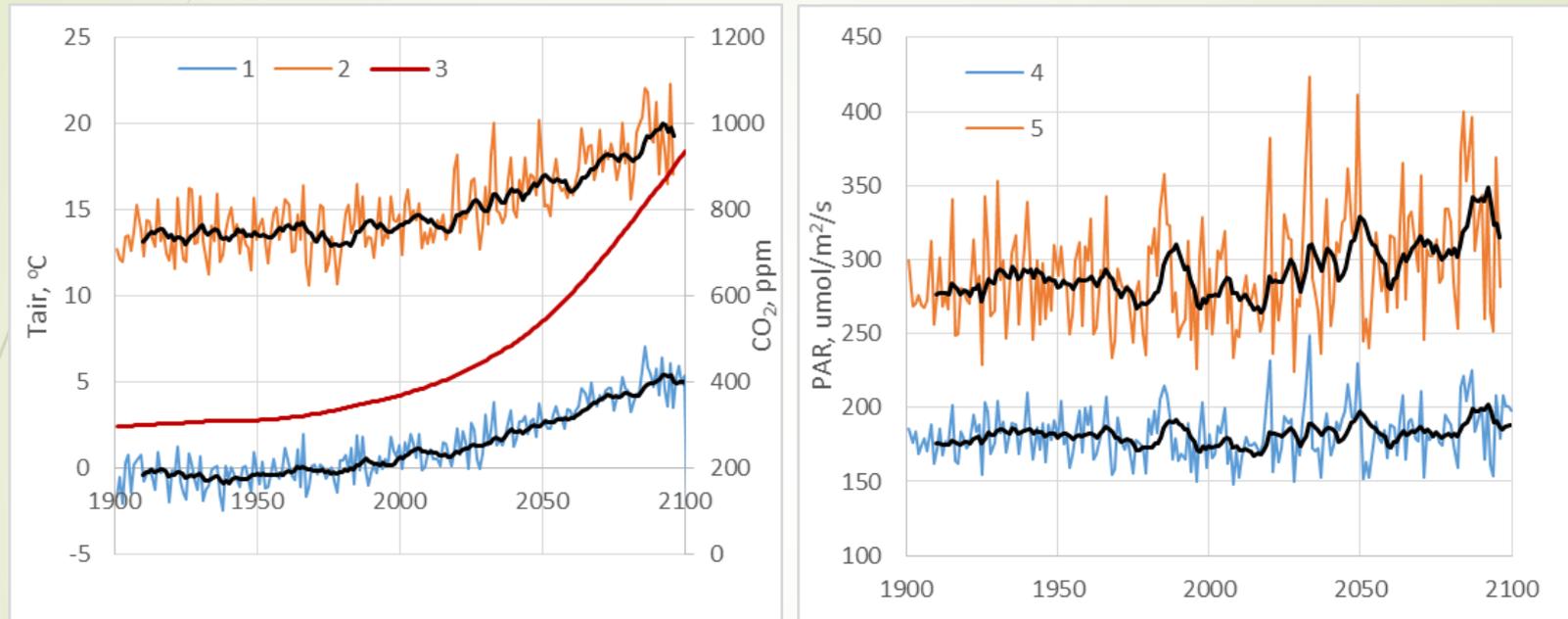
$$HR = E_{HR} \cdot e^{k \cdot T}$$

$$AR = LAI \cdot E_{AR} \cdot e^{k \cdot T}$$

$$ER = E_{HR} \cdot (1 + LAI \cdot f) \cdot e^{k \cdot T}$$

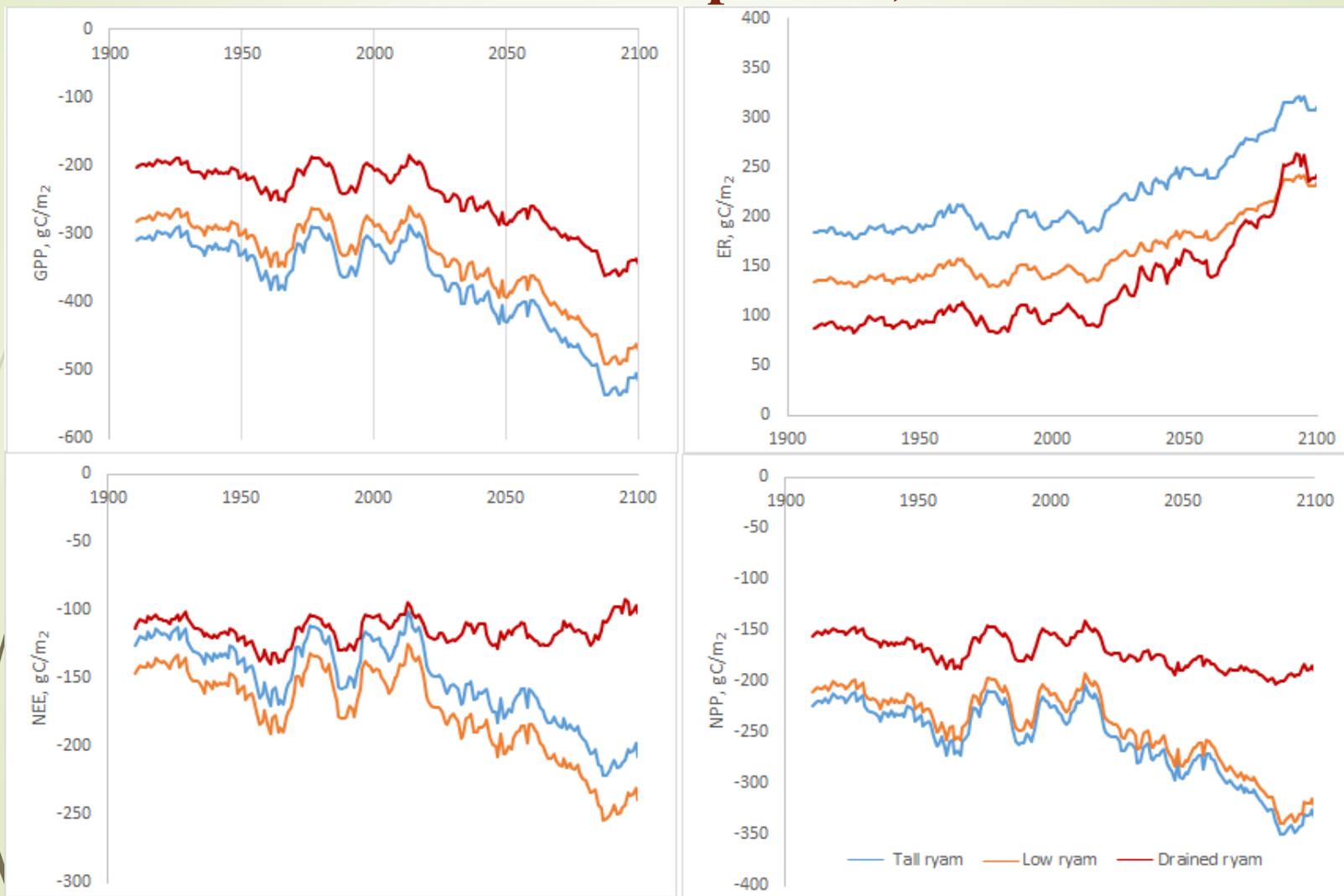
$$GPP = LAI \cdot \frac{\alpha \cdot PAR \cdot G_{max}}{\alpha \cdot PAR + G_{max}}$$

Изменения метеорологических параметров в XX-XXI веках согласно прогнозируемому сценарию RCP 8.5.



1 – средняя годовая температура воздуха, 2 – средняя температура воздуха май-сентябрь, 3 – сценарий роста средней концентрации CO₂, 4 – средняя годовая ФАР, 5 – средняя ФАР за май-сентябрь. (черные линии – 10-летнее скользящее среднее).

Прогноз суммарных годовых потоков углерода (GPP, ER, NEE, NPP) в XX и XXI вв. (10-летнее скользящее среднее)

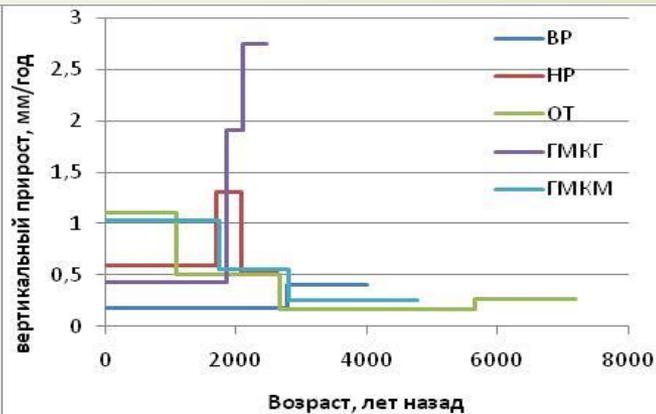
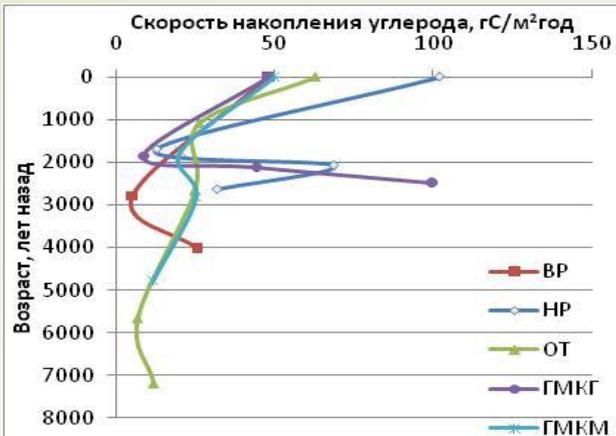


Скорость аккумуляции углерода болотами

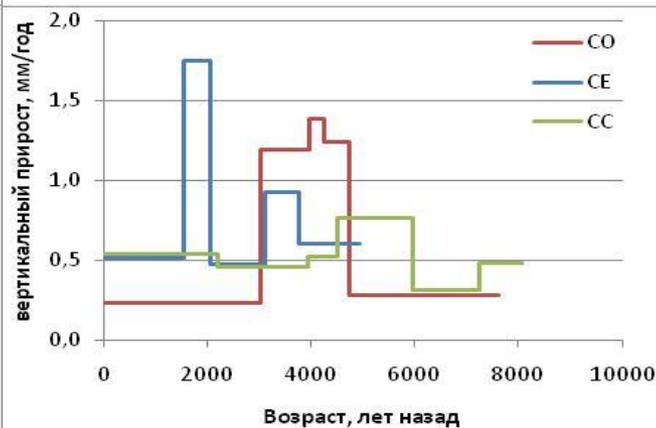
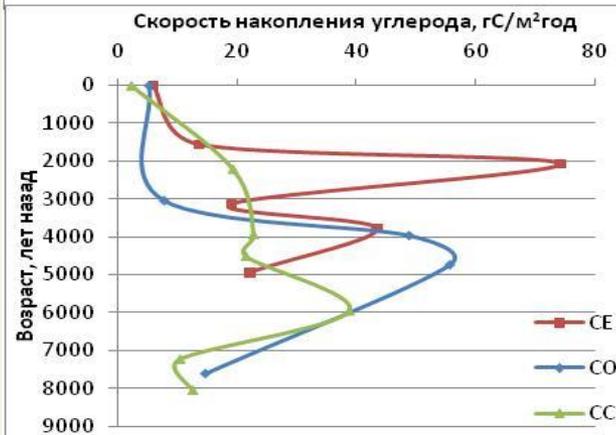
	Фитоценоз	Средняя скорость аккумуляции С, г/м² год	Вертикальный прирост торфа, мм/год
Бакчарское	ВР	11,39	0,25(0,18-0,41)
	НР	24,85	0,68(0,53-1,31)
	ОТ	15,18	0,42(0,17-1,10)
	ГМКГ	26,41	0,97(0,43-2,74)
	ГМКМ	18,12	0,61(0,26-1,03)
Самара	СЕ	27,66	0,71(0,47-1,75)
	СО	20,85	0,49(0,23-1,38)
	СС	23,38	0,52(0,31-0,76)
Тимирязевское	ТТ	7,00	0,8
	ТР	24,4	0,8(0,27-1,94)
Кирсановское	КТ	16,0	0,33
	КР	6,9	0,59(0,35-0,95)

Скорость аккумуляции углерода болотами

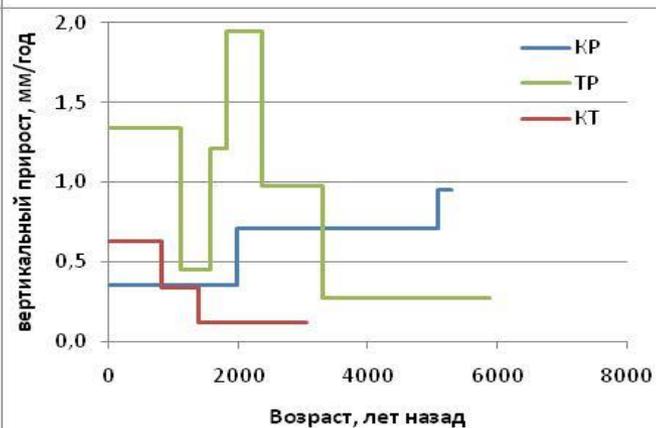
Бакcharское



Самара



Кирсановское
и Тимирязевское



Скорость аккумуляции углерода болотами

Стратиграфия исследованных торфяных залежей и рассчитанные скорости торфообразования отражают периоды потепления и похолодания, выявленные для территории Западной Сибири в течение Голоцена.

Начало образования очагов заболачивания на осоково-сфагновой топи и мочажине грядово-мочажинного комплекса соответствует периодам роста концентрации CH_4 в атмосфере (8 и 5,5 тыс.л.н). 3-2,5 тыс.л.н. начинается заболачивание обширных территорий (образование рямов) которое продолжается до сих пор и соответствуют постоянному росту концентрации CH_4 в атмосфере.

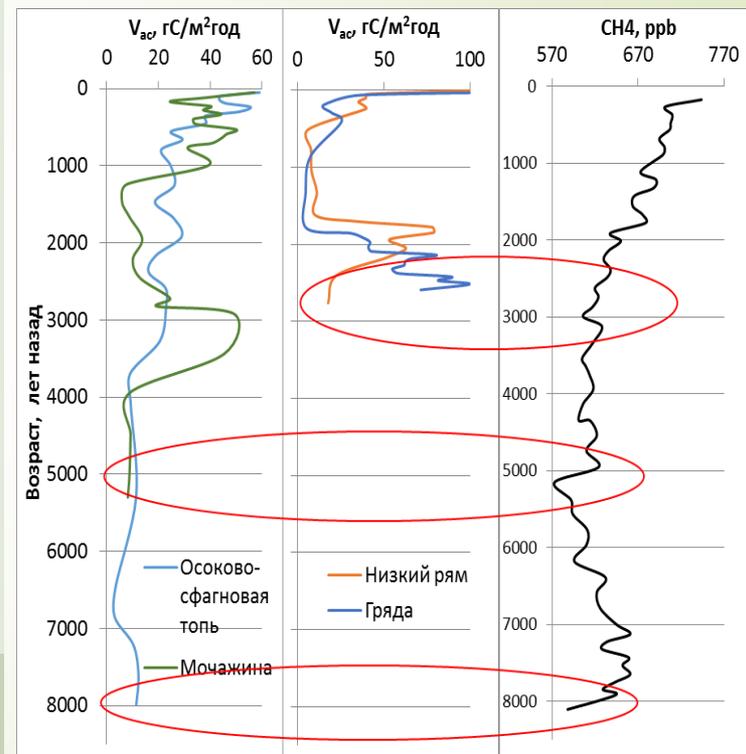
Для обводненных топяных участков наблюдается тесная положительная связь между содержанием CH_4 в атмосфере и скоростью аккумуляции углерода, накоплением торфа и палеопродуктивностью, для рямовых участков - отрицательная.

Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что активное развитие болот в голоцене оказывает влияние на изменение содержания CH_4 в атмосфере.

Коэффициенты корреляции между концентрацией метана в атмосфере и скоростью торфонакопления (V_t), аккумуляцией углерода в торфе (V_{ac}) и палеопродуктивностью (PNPP).

	V_{ac}	V_t	PNPP
Топяные участки	0,54-0,84	0,82-0,86	0,48-0,66
Рямовые участки	-0,30-(-0,77)	0,42-(-0,76)	-0,46-(-0,73)

Скорость накопления углерода в исследуемых торфяных разрезах и концентрация метана в атмосфере течение голоцена



Публикации:

Golovatskaya E., Veretennikova E. Peat formation processes in the bogs of West Siberia and change methane content during the Holocene // SWS 2015 Annual Meeting Abstract/ Providence, Rhode Island, USA

A landscape photograph showing a field of tall, golden-brown grasses in the foreground. In the middle ground, there is a dark, calm lake. The background is filled with a dense line of green trees. The sky is overcast with grey, heavy clouds. In the top left corner, there is a red arrow pointing to the right.

Спасибо за внимание!