



МГУ имени М.В. Ломоносова



ОЦЕНКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЧВЕННЫХ ПУЛОВ И ПОТОКОВ УГЛЕРОДА В ПРИРОДНЫХ И АГРАРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УГЛЕРОДА

П.В. Красильников

Г.Н. Копцик

В.А. Романенков

О.Ю. Гончарова

Ю.Л. Мешалкина

А.С. Сорокин

ОЦЕНКА ПУЛОВ УГЛЕРОДА В БИОГЕОЦЕНОЗЕ УОПЭЦ МГУ «Чашниково»



- Массив леса расположен в долине реки Клязьмы к югу от посёлка Красный Воин (городской округ Солнечногорск, Московская область).
- Преобладающий тип леса Ельник с березой кислично-волосистоосоковый (*Betuleto-Piceetum oxalidoso-pilosae carecosum*), формула древостоя 5Е4Б1К, сомкнутость крон в ярусе А в среднем составила около 60%. Высота древостоя в среднем составила 23 м, возраст преобладающей породы Ели в среднем составил 72 года.



- Преобладающий тип почв - Дерново - глубокоподзолистые языковатые

ОЦЕНКА ПУЛОВ УГЛЕРОДА В БИОГЕОЦЕНОЗЕ УОПЭЦ МГУ «Чашниково»

ЗАПАС УГЛЕРОДА ЭКОСИСТЕМЫ	206.258 т/га
1. В ДРЕВЕСИНЕ	124.978 т/га
1.1. ЖИВЫХ ДЕРЕВЬЕВ	113.186 т/га

ОСНОВНОЙ ПОЛОГ	111.58 т/га
ПОДРОСТ	0.032 т/га
ПОДЛЕСОК	1.574 т/га

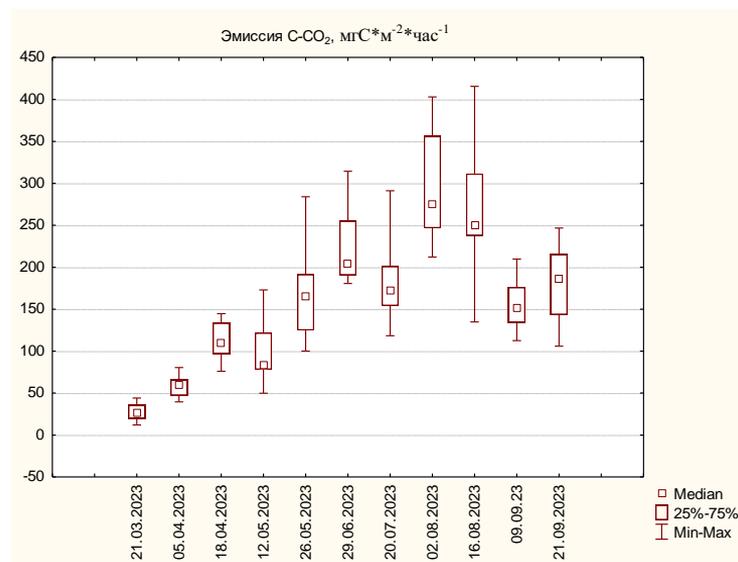
1.2. МЕРТВЫХ ДЕРЕВЬЕВ	11.792 т/га
------------------------------	--------------------

ВАЛЕЖ	3.598 т/га
СУХОСТОЙ	7.782 т/га
ПНИ	0.314 т/га
ХВОРОСТ	0.098 т/га

2. В НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ	В надземной биомассе 0.197 т/га
	В подземной биомассе 1.083 т/га
3. В ПОЧВЕ	80 т/га

ПОДСТИЛКА	1.967 т/га
-----------	------------

МИНЕРАЛЬНАЯ ТОЛЩА ДО XX СМ
 в слое 0-30 см составляет **46,93 т/га**,
 в слое 0-100 см составляет **77,96 т/га**



СОПОСТАВЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И СМЕШАННЫХ ОБРАЗЦАХ ПОЧВ УОПЭЦ МГУ «Чашниково»

Номер участка	Средние индив.	Средние смеш.	Разность	t-критерий	Дисперсии индивид.	Дисперсии смеш,	Отношение дисперсий
1	1,48	1,34	0,14	1,20	0,095	0,008	11,6
2	1,21	1,27	-0,06	1,23	0,016	0,004	4,3
3	1,54	1,20	0,34	1,74	0,334	0,006	59,8
4	1,95	2,01	-0,05	0,30	0,236	0,013	18,7
6	2,00	1,89	0,12	0,81	0,128	0,023	5,7
7	1,38	1,19	0,19	1,20	0,051	0,004	12,4

- Показано, что средние значения содержания углерода на каждой из площадок с 95% доверительной вероятностью можно считать одинаковыми независимо от способа отбора как для индивидуальных, так и для смешанных образцов. Дисперсии содержания углерода в случае использования смешанных проб уменьшаются в зависимости от биогеоценоза от 4 до 60 раз. Наибольший «выигрыш» в уменьшении варьирования при отборе смешанных проб наблюдается для лесов. Отбор смешанных проб по предлагаемой схеме позволит уменьшить наименьшую существенную разность от 2 до 7,5 раза и с большей точностью диагностировать возможные временные изменения содержания органического углерода.

КОНВЕРСИОННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕЖДУ СОДЕРЖАНИЕМ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВ, ОПРЕДЕЛЯЕМОГО МЕТОДОМ ТЮРИНА И МЕТОДОМ СЖИГАНИЯ ДЛЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ УОПЭЦ МГУ «Чашниково»

- Значения, полученные методом Тюрина, находились в диапазоне от 0,10% до 4,07%.
- Значения, полученные методом сухого сжигания, лежали в диапазоне от 0,21% до 5,38%.
- Взаимосвязь между показателями хорошо аппроксимировалась линейным уравнением коэффициентом детерминации $R^2=0,9865$.

$$C_{\text{Сжиг}} = 0,1115 + 1,1815 C_{\text{Тюрин}}$$

- где $C_{\text{Тюрин}}$ – содержание углерода по методу Тюрина, $C_{\text{Сжиг}}$ – содержание углерода по методу сухого сжигания
- Таким образом, возможен пересчет значений содержания органического вещества, определенных разными методами, в достаточно широком интервале и с высоким коэффициентом детерминации.

Оценка пулов и потоков углерода в системе атмосферные осадки – подкороновые воды – почвенные воды в лесных экосистемах Звенигородской биостанции МГУ

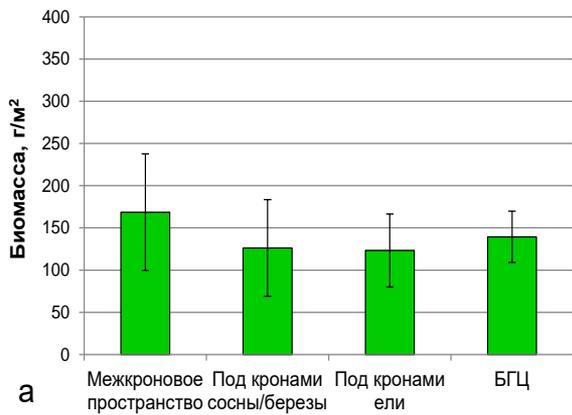
- Сосново-еловый чернично-кисличный лес, типичный для подтаежной зоны.
- Дерново-элювозёмы и элювоземы легкосуглинистые на двучленных отложениях.
- 2023 год: 5 пробных площадей 50×50 м, на каждой 2 геоботанические описания 20×20 м, 1 разрез и 2 прикопки.

- Лесотаксационные, геоботанические, почвенные, почвенно-зоологические и микробиологические исследования, оценка биомассы напочвенного покрова, отбор образцов почв и растений.
- Осадки
- Почвенные воды

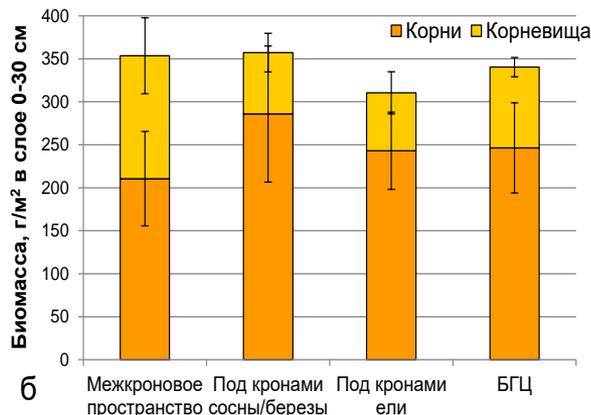


Запасы углерода в напочвенном покрове и почвах ЗБС

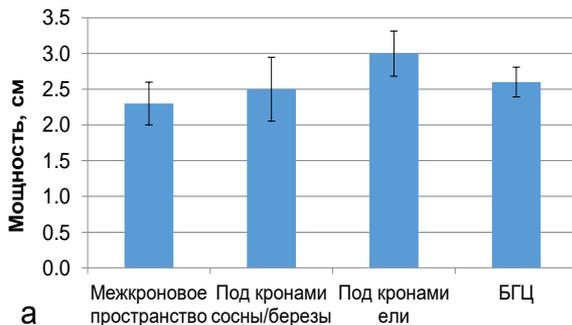
Надземная биомасса



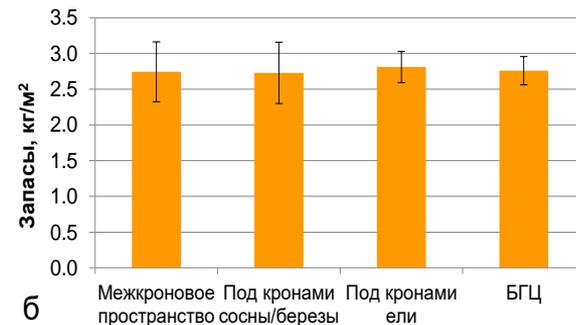
Подземная биомасса



Мощность O



Запасы O

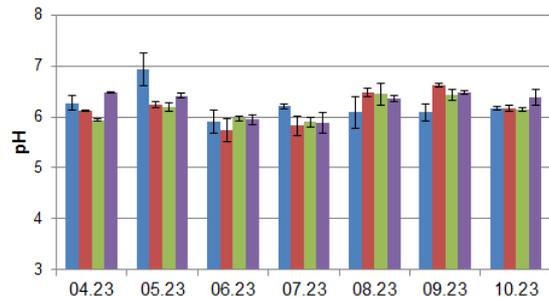


- Надземная биомасса напочвенного покрова 140 г/м^2 , подземная – 340 г/м^2 в слое 30 см.
- Запасы подстилки – 2.8 кг/м^2 ($1.3 - 3.9 \text{ кг/м}^2$).
- Элювоземы и дерново-элювоземы на двучленных отложениях содержат в подстилке и метровом минеральном слое 69 т/га (от $51-96 \text{ т/га}$) $\text{C}_{\text{орг}}$.
- В подстилке сосредоточено менее 4-10% общих запасов, в слое 0-30 см – около 60%. Разные уровни аккумуляции С и его распределение по профилю почв обусловлены литологическими особенностями и характером растительности.

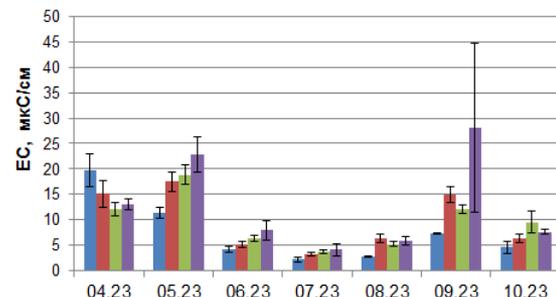
Атмосферные осадки

- Нейтральная реакция и низкая электропроводность.
- Концентрации DOC и DN составляют 4.6 и 0.9 мг/л на открытой местности и 9.8-17 и 0.7-1.1 мг/л под лесным пологом.
- За вегетационный период на открытую поверхность поступило ~7,45, под полог леса – от 17 до 31 кг DOC/га в зависимости от состава и степени повреждения древостоя из-за вспышки короеда-типографа.
- Состав осадков типичен для фоновых районов лесной зоны, а концентрации и потоки DOC соответствуют глобальным оценкам: 2.6 ± 1.9 мг/л и 34 ± 33 кг/га в год (Iavorivska et al., 2016).

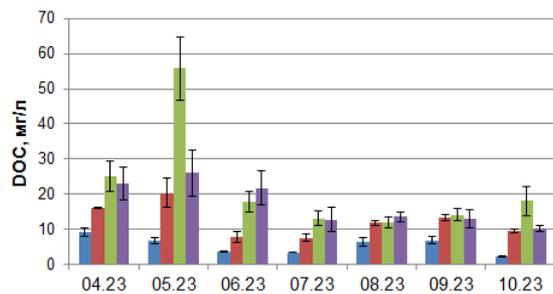
pH



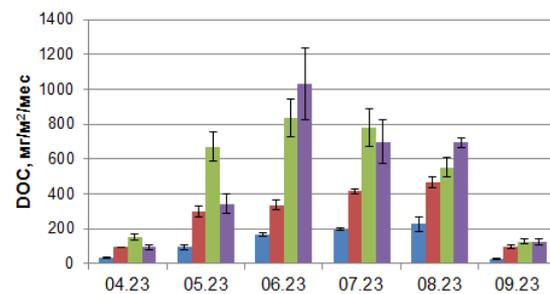
Электропроводность



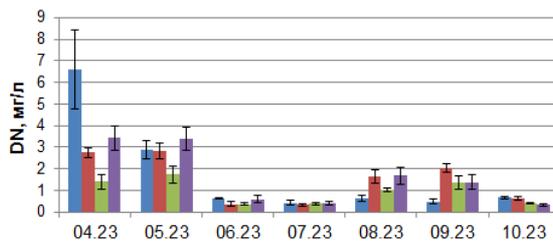
Концентрации DOC



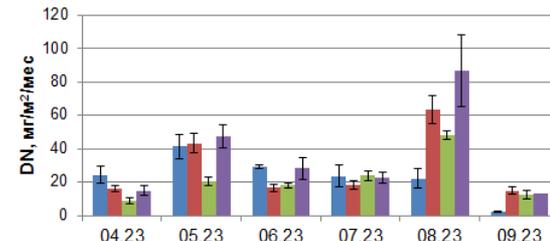
Потоки DOC



Концентрации DN



Потоки DN



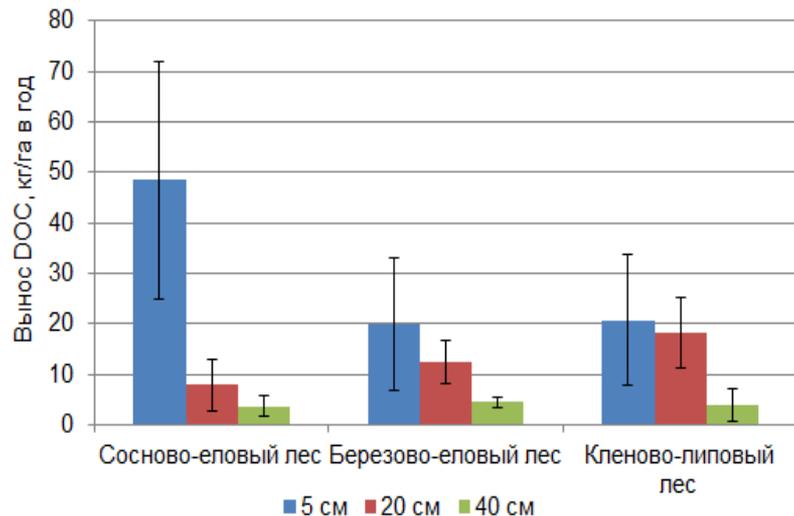
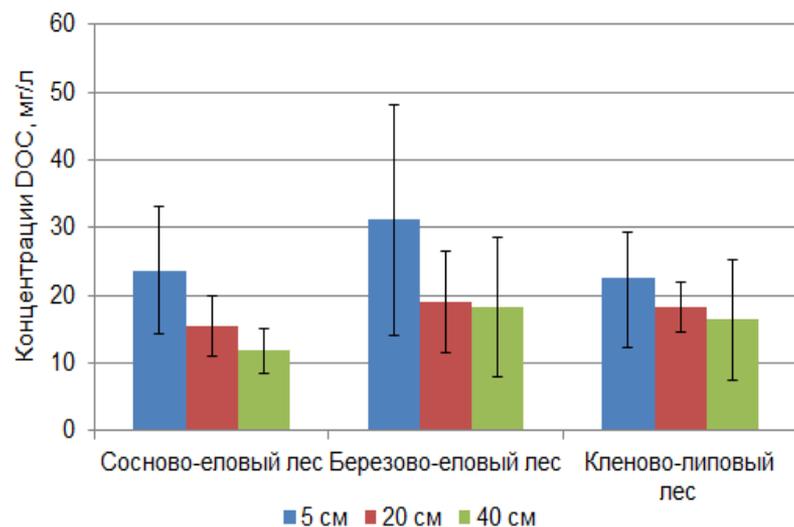
■ Открытое пространство ■ Сосново-еловый лес
■ Березово-еловый лес ■ Кленово-липовый лес

■ Открытое пространство ■ Сосново-еловый лес
■ Березово-еловый лес ■ Кленово-липовый лес

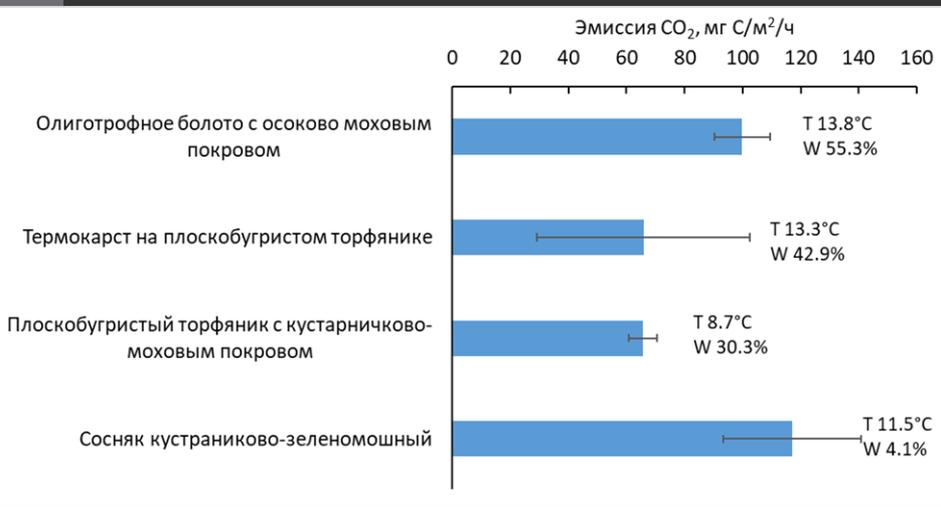
Почвенные воды

- Суммарный вынос DOC с почвенными водами в 2023 г. составил 20–48 кг/га из слоя 5 см, 8–18 кг/га из слоя 20 см и около 4 кг/га из слоя 40 см.
- Вынос DOC и DN с почвенными водами меньше или близок к средним многолетним значениям.
- Незначительный вынос DOC из элювиальной толщи свидетельствует о закреплении органического вещества в почвах.

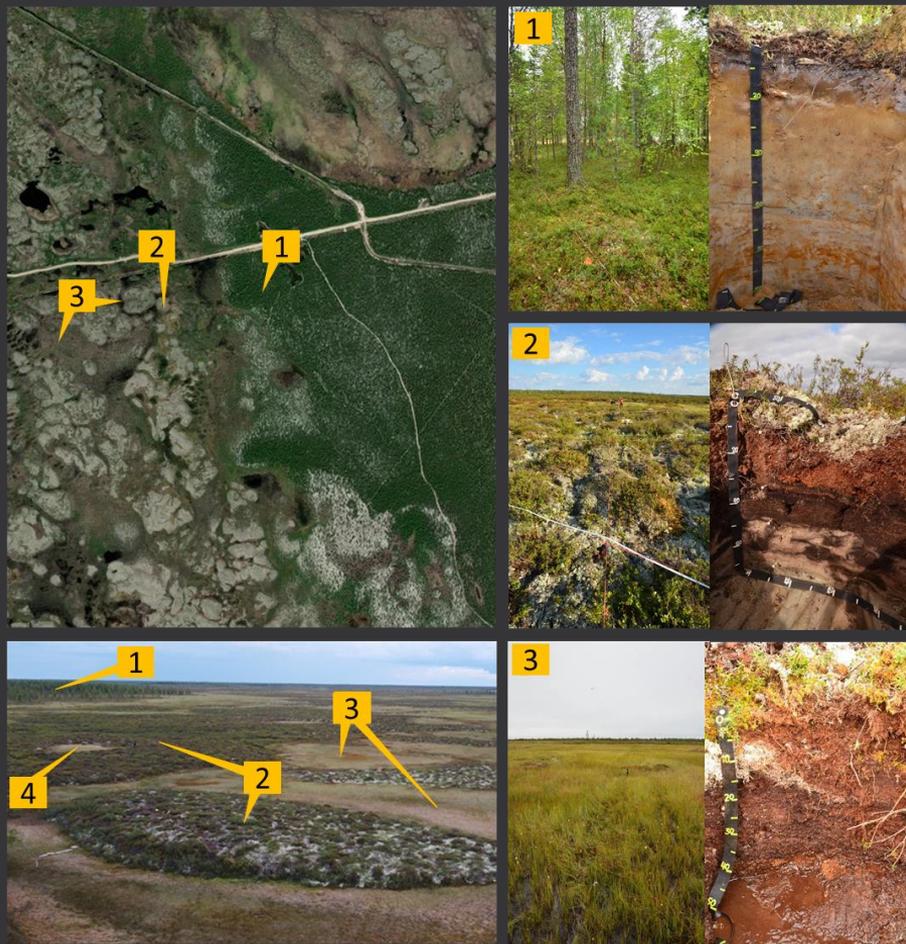
БГЦ	Глубина	DOC, кг/га в год	
		2023	2008-2022
Сосново-еловый лес	5 см	48±24	40±9
	20	8±5	18±10
	40	4±2	9±2
Березово-еловый лес	5	20±13	21±9
	20	12±4	20±8
	40	4±1	19±8



Мониторинг эмиссии CO_2 с поверхности ключевых (1) автоморфных (лесные), (2) полугидроморфных (мерзлые бугристые торфяники с развитыми термокарстами (4)), (3) гидроморфных (олиготрофные болотные) экосистем севера Западной Сибири в вегетационный период.



Величины эмиссии CO_2 с поверхности ключевых участков (средние и ошибка среднего) и гидротермических параметров почв (средние Т температура и W верхнего горизонта)



Основные объекты исследования

Оценка запасов подземной и надземной фитомассы и запасов углерода почв для БГЦ бугристых торфяников



Рис.3 Общий вид исследуемого торфяно-болотного комплекса и схема расположения пробных площадок

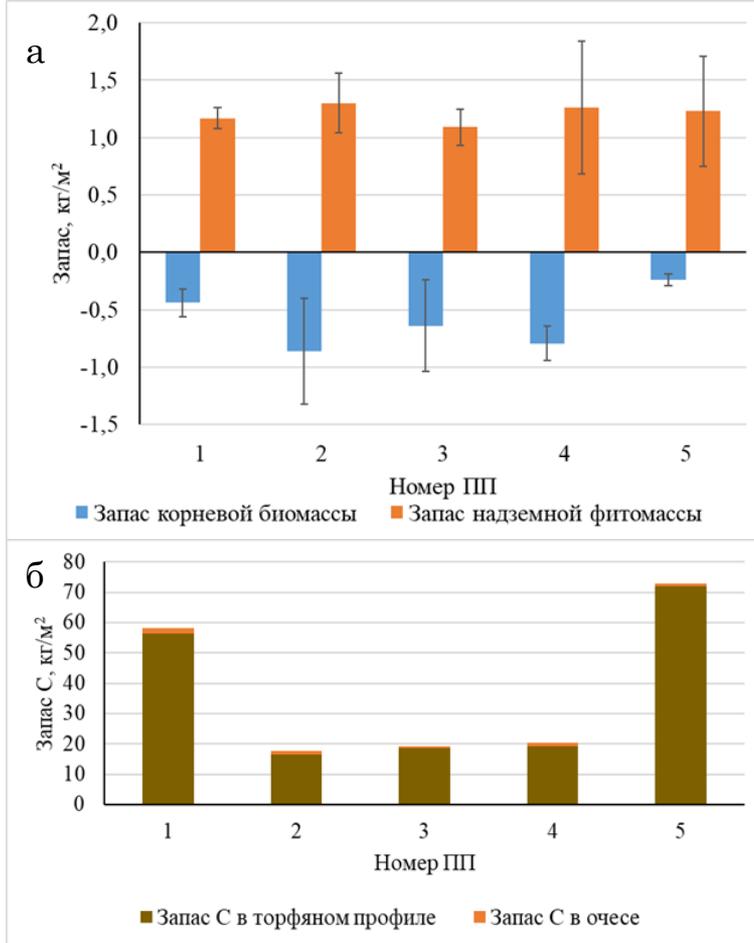


Рис. 4 Запасы надземной и подземной биомассы (а), запасы углерода в органическом профиле и подстилке (б) торфяно-криоземов на пробных площадках БГЦ бугристых торфяников.

Потенциал поглощения атмосферного углерода пахотными почвами

- Концепция «4 промилле», принятая на Конвенции сторон UNFCCC в Париже в 2015 г., направлена на стимулирование поглощения углерода пахотными почвами: повышение запасов углерода в пахотном слое на 0,4% в год позволит компенсировать все антропогенные выбросы парниковых газов
- В 2017 UNFCCC одобрила «Коронивийскую общую работу по сельскому хозяйству», где подтвердила решимость превратить аграрный сектор
- Для поддержания постоянства концентрации CO₂ в атмосфере почвы должны поглощать в 2030-2050 гг. 1,4-1,6 Гт углерода в год, т.е. в среднем 0,89 т/га в год
- Новые технологии обработки почвы могут существенно повысить потенциал почв по поглощению углерода: только технология нулевой обработки и прямого посева позволяет повысить поглощение углерода до 0,5-1,8 тонн CO₂ на гектар в год



ДИНАМИЧЕСКОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

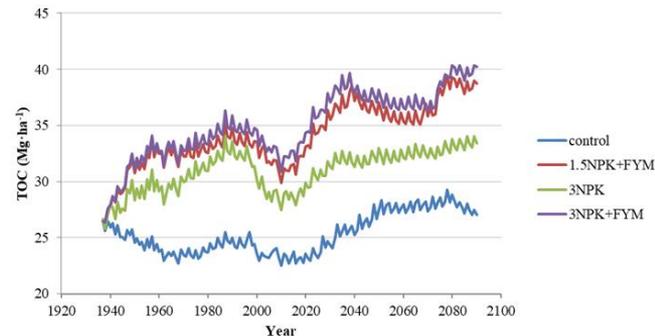
- ❑ С помощью комплекса почвенных углеродных моделей - **NAMSOM, DayCent, RothC**
- ❑ Ретроспективное и имитационное моделирование динамики почвенного углерода контрастных вариантов
- ❑ 6 длительных полевых опытов, входящих в Географическую сеть опытов с удобрениями



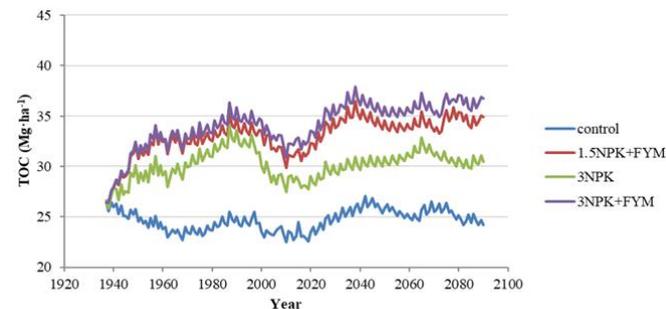
Потенциал поглощения атмосферного углерода сельскохозяйственными почвами России

- На основании отечественных данных многолетних агрохимических опытов создана основа для моделирования динамики почвенного углерода при разных климатических сценариях
- Работы велись в коллаборации с 23 исследовательскими организациями мира в рамках проекта, профинансированного программой ЕС HORIZON2020 «Координация международного сотрудничества в области исследования почвенного углеродного сектора в сельском хозяйстве» (CIRCASA)
- Наш коллектив вошёл в созданный по итогам проекта Международный исследовательский консорциум (IRC) по поглощению углерода почвами
- Среди прочего, коллективом разработана блок-схема рекомендаций по накоплению органического углерода в почвах

Прогноз накопления С в почвах (Долгопрудный, МО) при умеренном климатическом сценарии RCP4.5



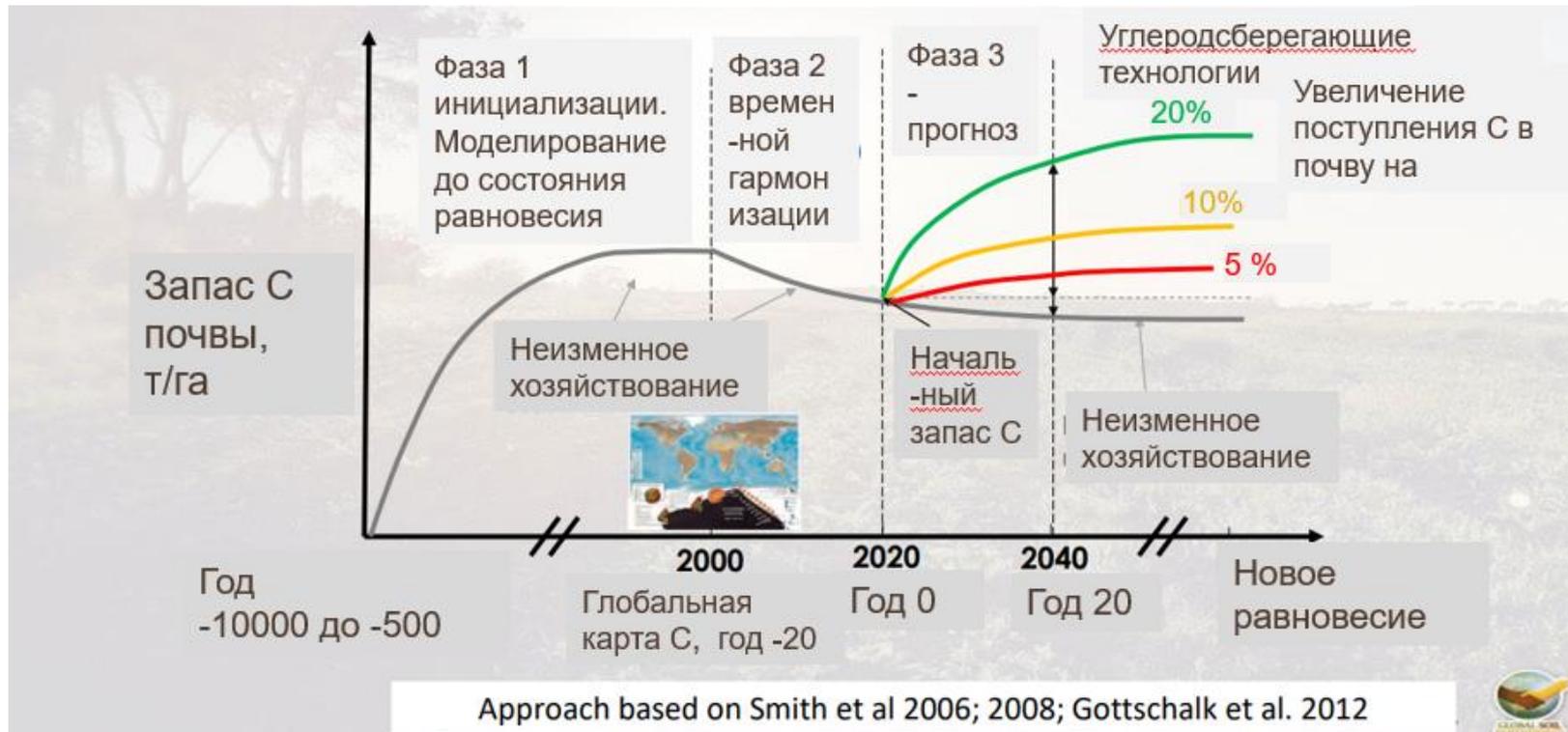
Прогноз накопления С в почвах (Долгопрудный, МО) при экстремальном климатическом сценарии RCP8.5



Глобальная карта секвестрации почвенного углерода



Динамическое имитационное моделирование



Секвестрация углерода в пахотных почвах в слое 0-30 см РФ в период 2020-2040

Методика работы соответствовала унифицированной методологии ФАО по составлению Глобальной карты секвестирования почвенного углерода (GSOCseq)



ДАННЫЕ ТЕКУЩЕГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

- Оценка по снимкам MODIS с разрешением 300 м
- временной ряд вегетационных индексов NDVI и EVI, полученных со спутника MODIS (MOD13A1.006 Terra Vegetation Indices): оценка NPP



КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

- Климатическая база данных CRU с разрешением 50*50 км (Climatic Research Unit (CRU) TS v4.05, 1901-2020): среднемесячная температура, осадки и эвапотранспирация



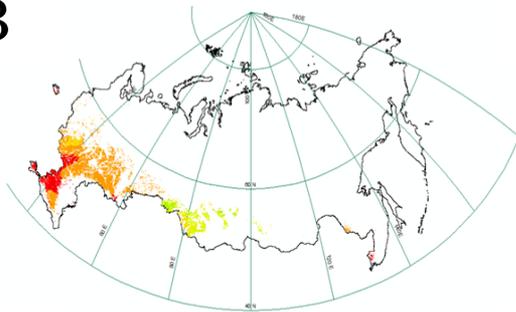
ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ

- Источник данных по запасу Сорг – национальная карта запасов почвенного органического углерода на глубине 0–30 см (GSOC17)
- Содержание ила – карта SoilGrids 250m версия 2.0

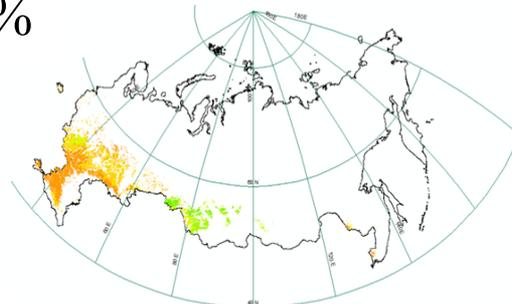
Применялась RothC (Ротамстедская модель)

Скорости секвестрации органического углерода пахотными почвами в слое 0 – 30 см (т С га/год) при сохранении неизменного хозяйствования (НЗ) и при трех сценариях, где предполагается увеличение поступающего в почву органического вещества на 5, 10 и 20%

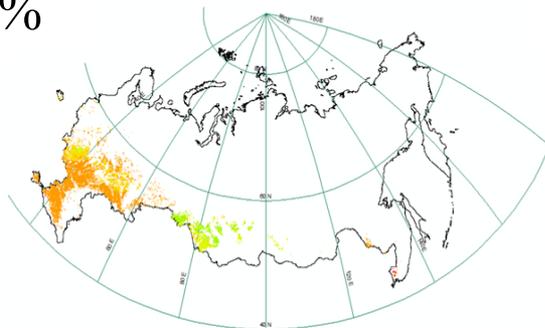
НЗ



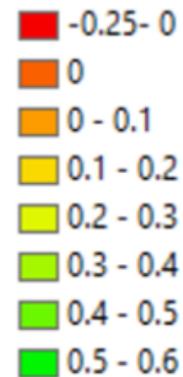
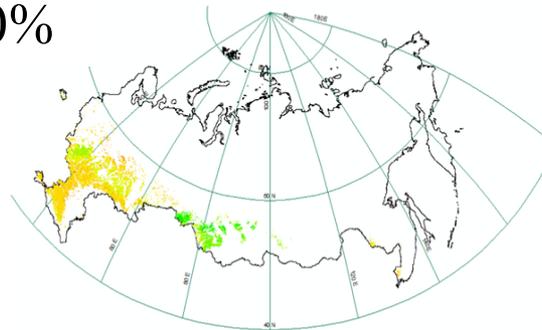
10%



5%



20%



Средняя скорость: НЗ – 0.05 т С/га в год; 5% – 0.11 т С/га в год, 10% – 0.16 т С/га в год, 20% – 0.27 т С/га в год

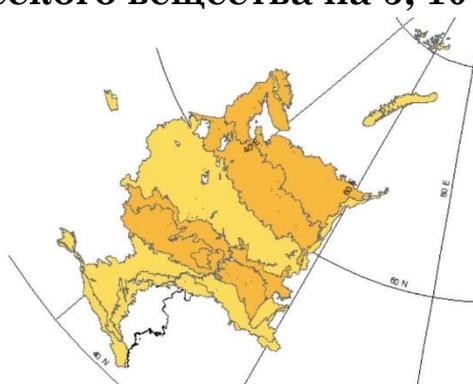
Средняя абсолютная скорость секвестрации почвенного углерода для пахотных почв России в слое 0–30 см составляет 0.05 т С/га в год для сценария неизменного хозяйствования, а для трех других сценариев, может достигать 0.11, 0.16, 0.27 т С/га в год, соответственно.

При сохранении существующей практики землепользования в течение 20 лет суммарно потенциальную скорость секвестрации пахотными почвами РФ в слое 0–30 см можно оценить как 8.5 Мт/год, при применении углеродосберегающих практик – 12.9, 17.0 и 25.5 Мт/год.

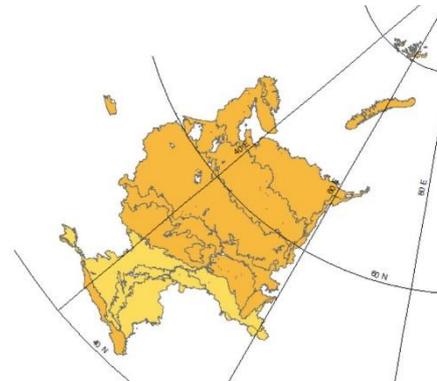
Таким образом, за 20 лет к 2040 г. все пахотные почвы России могут накопить в слое 0–30 см от 170 до 510 Мт С в зависимости от сценария землепользования.

Средняя скорость секвестрации почвенного углерода (т С га/год) по почвенно-экологическим зонам при сохранении неизменного землепользования (НЗ) и при трех сценариях, где предполагается увеличение поступающего в почву органического вещества на 5, 10 и 20%

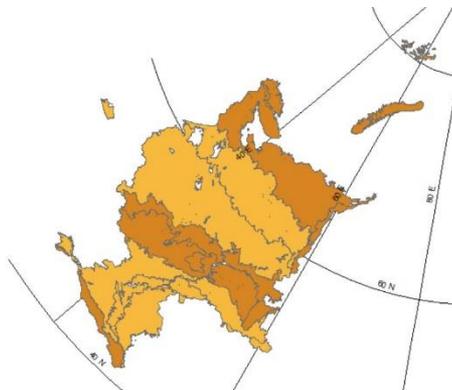
НЗ



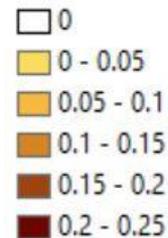
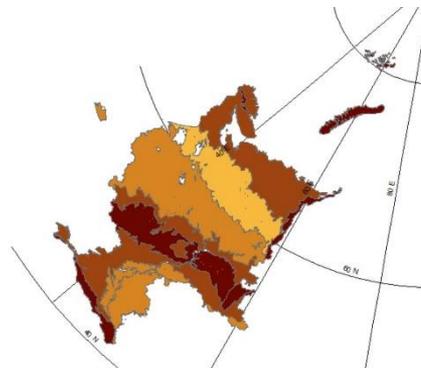
5%



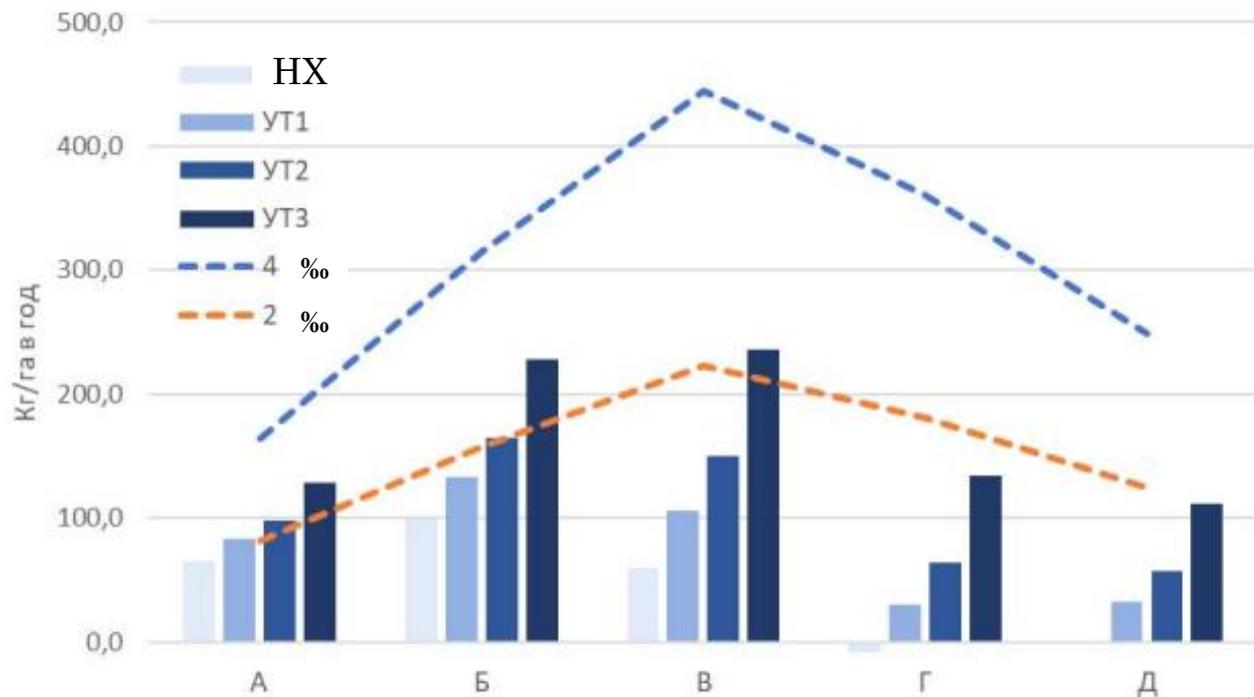
10%



20%



Прогноз абсолютных скоростей секвестрации и уровни 4 и 2‰



Зона лесостепи – самая перспективная для секвестрации С территория

Увеличение поступления углерода в почву на 5% может обусловить рост секвестрации углерода в 2 раза, а увеличение на 20% – в 5 раз

При любых сценариях невозможно достичь скорости накопления 4 промилле

А – зона дерново-подзолистых почв южной тайги; Б – зона серых лесных почв лиственных лесов; В – зона оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи; Г – зона обыкновенных и южных черноземов степи; Д – темно-каштановых и каштановых почв сухой степи. НХ – неизменное хозяйствование, УТ1-3 – углеродсберегающие технологии с дополнительным поступлением 5, 10 и 20% С

Новое в 2023 г. : секвестрация углерода в пахотных почвах в слое 0-30 см РФ в период 2020-2040

Методика работы соответствовала унифицированной методологии ФАО по составлению Глобальной карты секвестрирования почвенного углерода (GSOCseq)



ДАННЫЕ ТЕКУЩЕГО
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Оценка NPP по данным Росстата и Агрохимслужб



КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

- Климатическая база данных CRU с разрешением 50*50 км (Climatic Research Unit (CRU) TS v4.05, 1901-2020): среднемесячная температура, осадки и эвапотранспирация



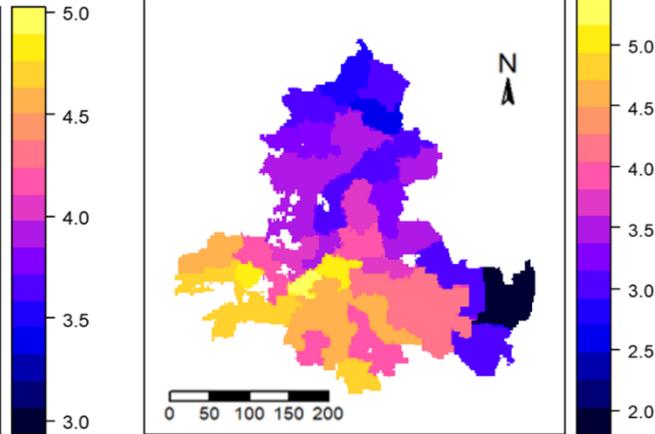
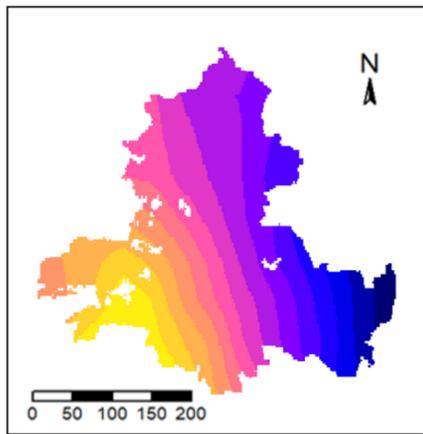
ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ

- Источник данных по запасу Сорг – национальная карта запасов почвенного органического углерода на глубине 0–30 см (GSOC17)
- Содержание ила – карта SoilGrids 250m версия 2.0

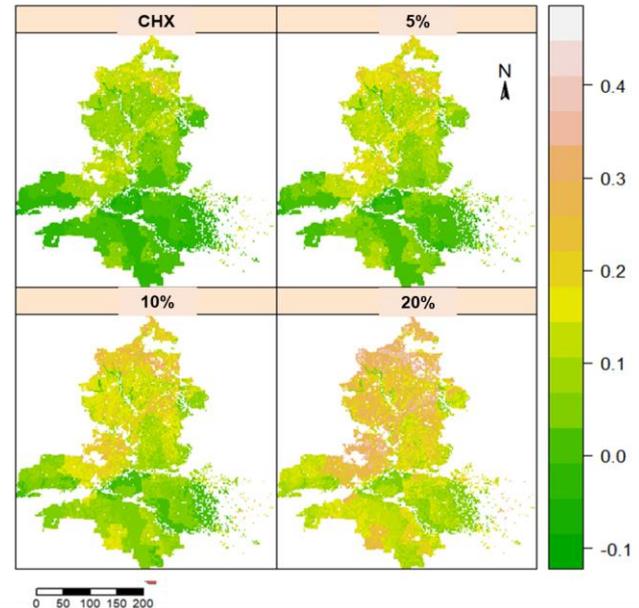
Применялась RothC (Ротамстедская модель)

Чистая первичная продукция Ростовской области, т/га С в год

Расчёт по метеоданным Расчёт по данным Росстата

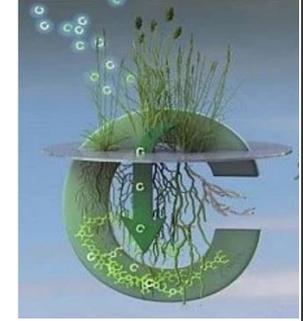


Уточненные показатели скорости
секвестрации почвенного С
Ростовской области, т С га/год,



Для 4 сценариев: неизменное хозяйствование и
углеродсберегающие технологии

Результаты прогноза потенциального депонирования органического углерода почвами агроэкосистемам при адаптации различных элементов агротехнологий



- Для всех опытов прогноз динамики ОВ почвы при ожидаемых климатических изменениях даёт возможность достичь цели «4 промилле»;
- Наиболее значимым фактором является изменение севооборота и отказ от парового поля, как в условиях Нечернозёмной зоны, так и для чернозёмных почв.
- Если в севообороте отсутствует паровое поле, управление запасами С в наибольшей степени обеспечивается использованием органических удобрений в правильно выбранной дозе, а также возделыванием трав;
- Применение альтернативных источников органических удобрений даёт возможность дополнительного накопления С пахотным слоем почвы, при этом эффективность при использовании эквивалентных доз снижалась в ряду

компост и торфосмеси > биочар и гидрочар > навоз > сидераты

Спасибо за внимание

