

Прогнозная оценка нетто-поглощения углерода в основных типах наземных экосистем России: результаты 2023 года и планы на 2024

Шанин В.Н.,
Тебенькова Д.Н.,
Чумаченко С.И.,
Щепащенко Д.Г.,
Голубятников Л.Л.,
Романенков В.А.,
Суховеева О.Э.,
Богомолов В.Ю.,
и др.

Рабочая группа: Моделирование

Цель: прогнозная оценка динамики пулов и потоков углерода наземных экосистем методами математического моделирования

Задачи:

- Формирование комплекса моделей для прогнозной оценки изменений в пулах углерода и потоков парниковых газов в основных типах наземных экосистем России
- Параметризации и валидация моделей на основе базы входных параметров
- Проведение имитационных экспериментов для прогноза динамики пулов и потоков углерода в наземных экосистемах с использованием набора сценариев природопользования и климатических сценариев
- Интеграция системы прогнозной оценки с системой мониторинга пулов и потоков углерода (применение результатов мониторинга для параметризации и валидации моделей) для наземных экосистем

Связь с общими целями и задачами Консорциума

- Оценка репрезентативности создаваемой сети мониторинга
- Разработка методов интеграции данных сети мониторинга со средствами прогнозной оценки
- Включение прогнозных оценок в общую информационно-аналитическую систему
- Получение новых оценок бюджета углерода на национальном уровне

В контексте Рамочной конвенции ООН об изменении климата

- Выработка рекомендаций по повышению эффективности управления наземными экосистемами с точки зрения снижения эмиссии / повышения связывания парниковых газов
- Уточнение оценок эмиссии парниковых газов в разных типах наземных экосистем для учёта в Национальном кадастре

Связь с другими Консорциумами

- К1 (“Разработка глобальной модели Земной системы...”): входные данные, вычислительные модули и блоки, кросс-валидация
- К5 (“Создание методик разработки сценариев...”): прогнозные оценки эффективности сценариев декарбонизации
- К6 (“Техническое перевооружение ... Национального кадастра...”): валидация / уточнение конверсионных коэффициентов для расчёта эмиссии и поглощения парниковых газов

Комплекс прогнозных моделей

- **Лесные экосистемы:** динамическая модель древостоя (*ЦЭПЛ РАН*), модель динамики органического вещества почвы (*ФИЦ ПНЦБИ РАН*), регрессионные модели оценки фитомассы древостоя и дыхания почвы, глобальная лесная модель (*ИЛ СО РАН*)
- **Агроэкосистемы:** модели бюджета углерода пахотных почв, углеродные калькуляторы (*ИГ РАН, факультет почвоведения МГУ*)
- **Тундровые и лесотундровые экосистемы:** нелинейная динамическая модель углеродного цикла (*ИФА РАН*)
- **Болотные экосистемы:** численная модель тепло- и влагопереноса, включая параметризацию для расчёта потоков парниковых газов (*К1: ИВМ РАН, МГУ*) и параметризацию уровня грунтовых вод (*ИМКЭС СО РАН*)

Оценка репрезентативности комплекса моделей

Тип наземных экосистем	Доля от общей площади сухопутной территории России, %	Возможности сценарного моделирования
Лесные экосистемы	47	хозяйственная деятельность, изменения климата, биотические и абиотические нарушения
Агроэкосистемы	13	хозяйственная деятельность, изменения климата
Тундровые и лесотундровые экосистемы	12	изменения климата, биотические нарушения
Болотные экосистемы	8	хозяйственная деятельность, изменения климата
ИТОГО:	80%	

Пространственный уровень: локальный, региональный.
Национальный – с рядом допущений.

Глобальная лесная модель (G4M): прогноз запаса С в древесине (Красноярский край), млн. т

Природоохранный сценарий
(рубка в возрасте максимальных запасов – максимизация запасов углерода в древостое)



Инерционный сценарий
(сохранение текущей практики лесопользования)

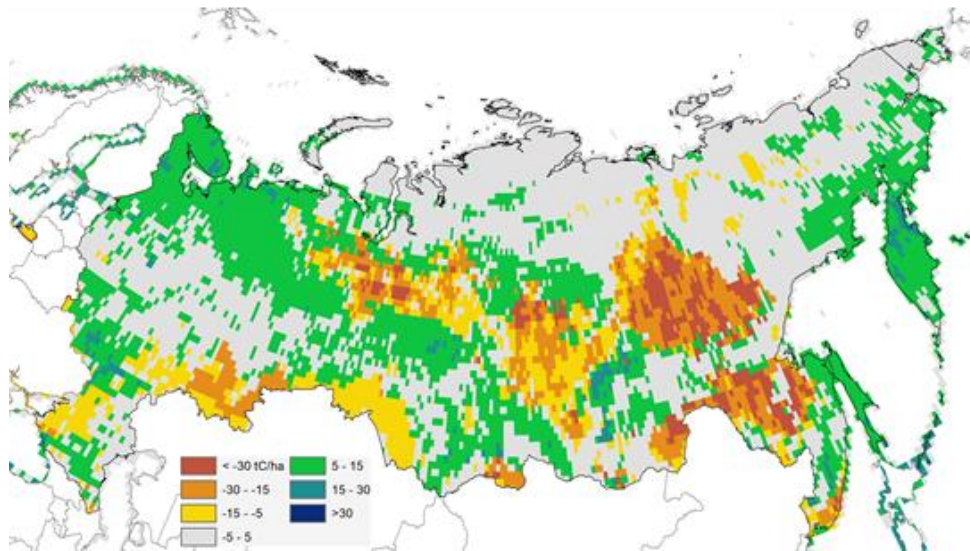


Интенсивный сценарий
(рубка в возрасте максимального среднего прироста – максимизация скорости поглощения углерода)

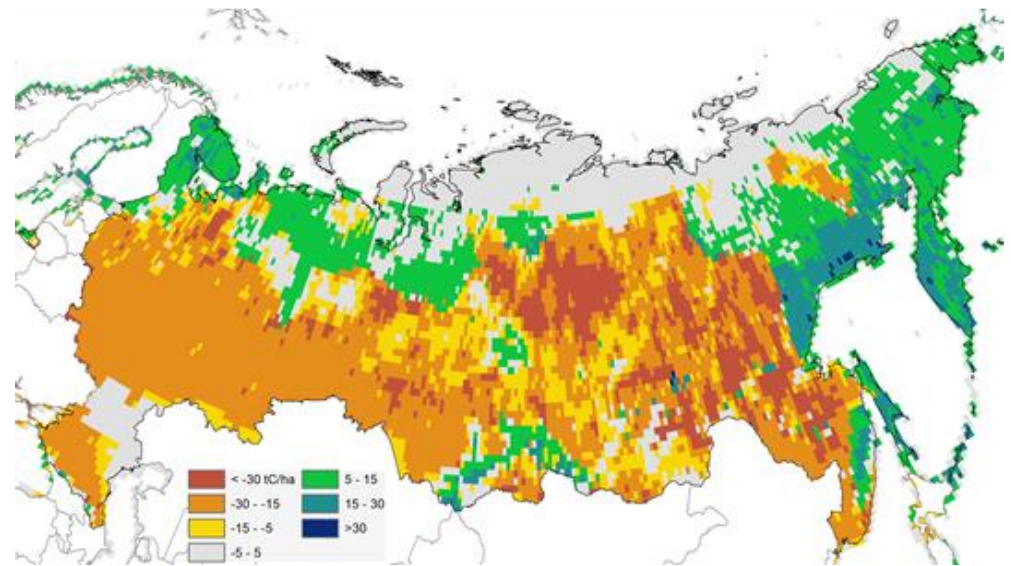


Прогноз изменения запаса углерода в древостое на национальном уровне, инерционный сценарий

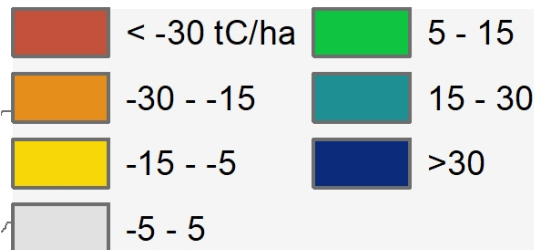
2020-2100, RCP2.6

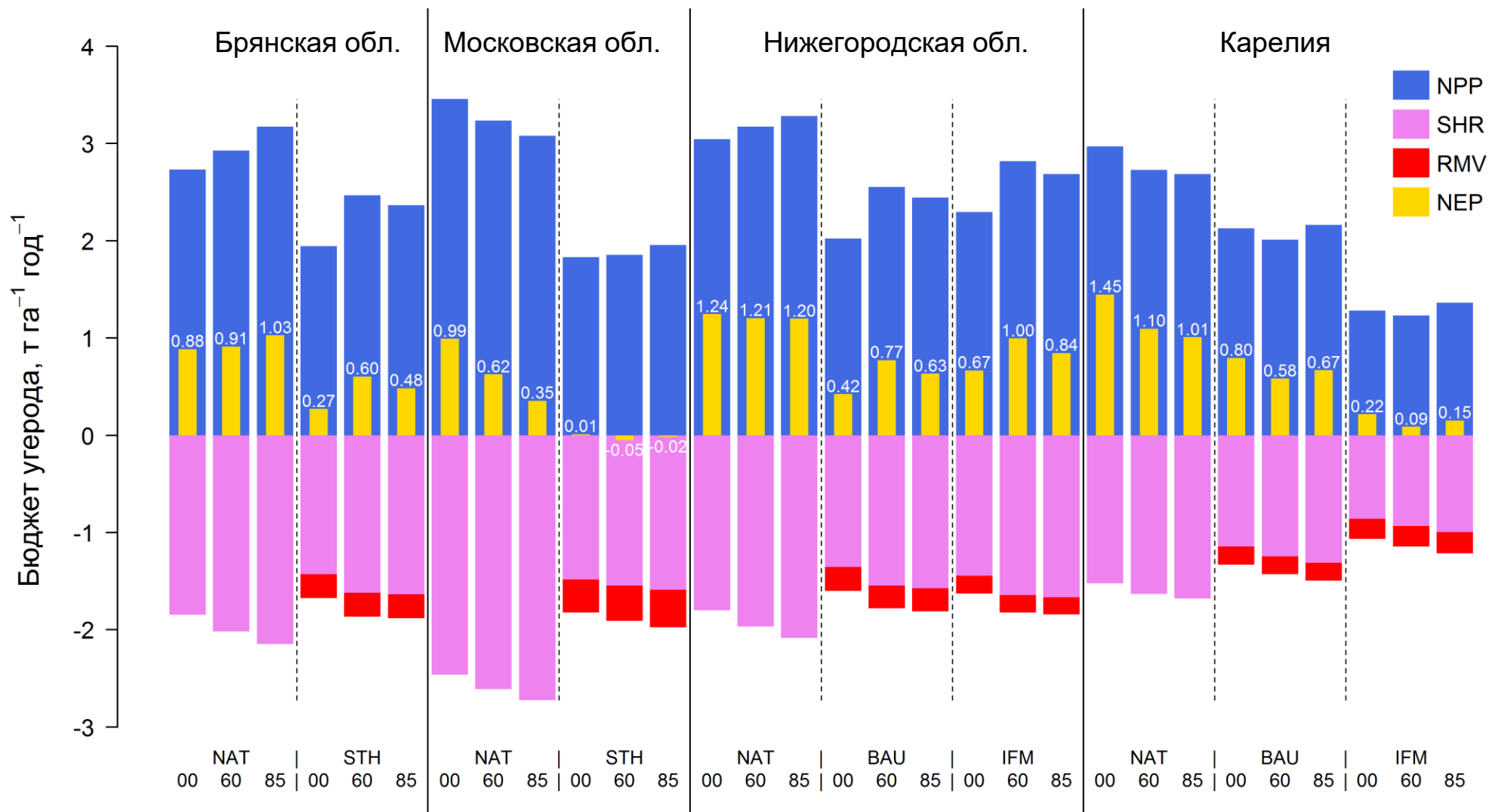


2020-2100, RCP8.5



Изменение запаса углерода в древостое, т/га





Моделирование на уровне лесничеств

Компоненты бюджета углерода (усреднённые значения за 100 лет, т га⁻¹ год⁻¹) при разных сценариях. NPP – чистая первичная продукция древостоя, SHR – гетеротрофное дыхание почвы, RMV – удаление фитомассы при рубках, NEP – нетто-экосистемная продукция как результирующая трёх указанных выше потоков с учётом их знака. Все показатели приведены в пересчёте на углерод. NAT – сценарий без рубок; STH – добровольно-выборочные рубки в 2 приёма и естественное зарастание; BAU – текущая практика (сплошные рубки в эксплуатационных лесах, добровольно-выборочная рубка в 2 приёма в защитных; освоение расчётной лесосеки(65–87%) – на основе фактических данных); IFM – аналогично, но освоение расчётной лесосеки: 90–100%.

Секвестрация углерода в пахотных почвах РФ

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

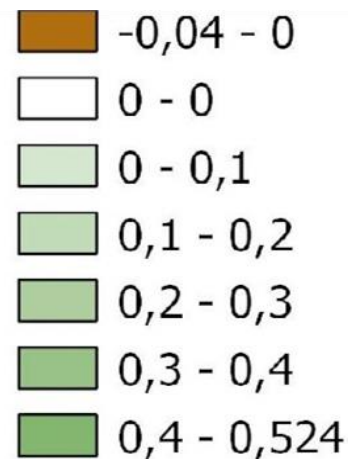
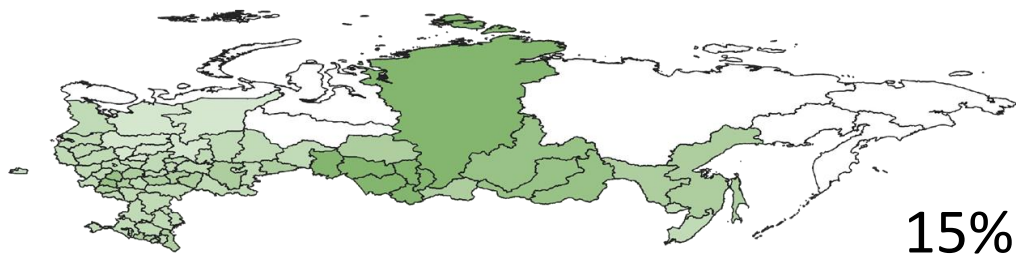
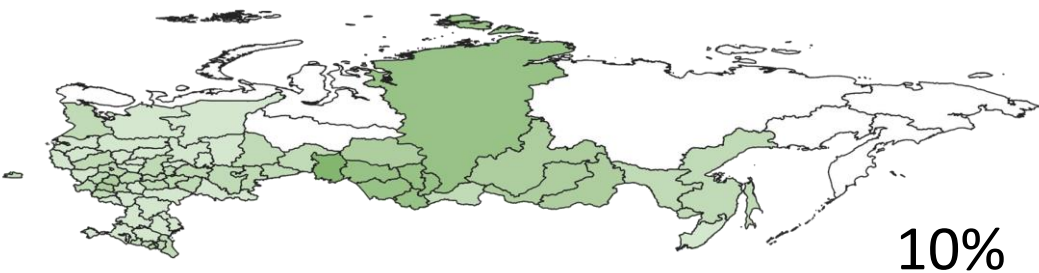
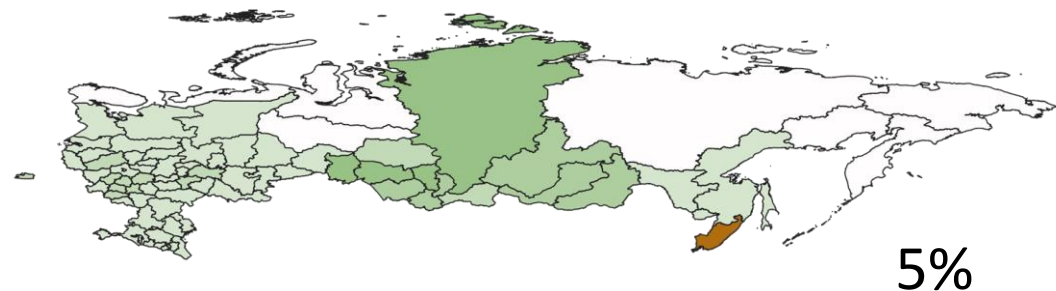
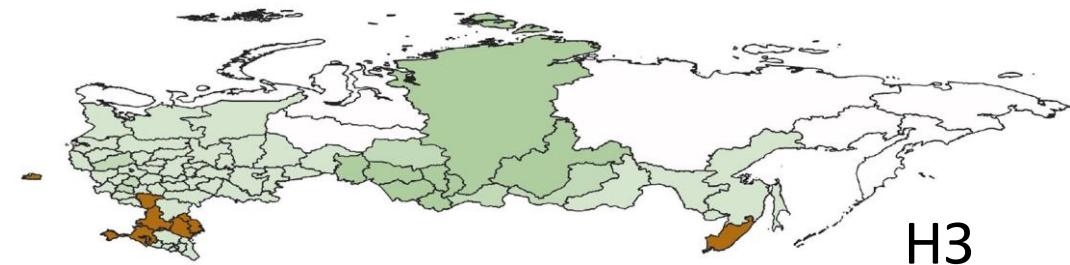


ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ

- 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)

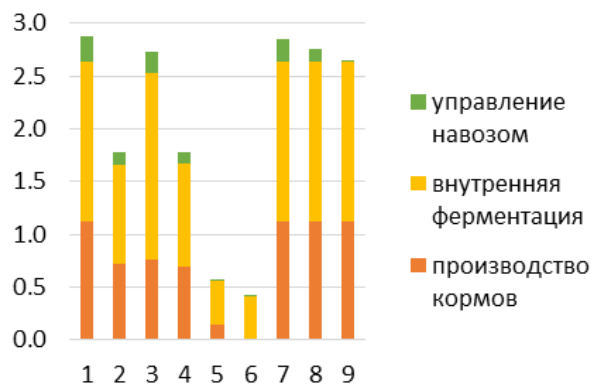
Средняя скорость секвестрации почвенного углерода (т С га/год) по субъектам РФ при сохранении неизменного землепользования (НЗ) и при трех сценариях, где предполагается увеличение поступающего в почву органического вещества на 5, 10 и 20%



Средняя скорость: 0.05 т С/га в год (НЗ); 0.11, 0.16, 0.27 т С/га в год при увеличении поступления ОВ на 5, 10 и 20%, соответственно

Углеродные калькуляторы как инструмент для оценки эмиссии парниковых газов от животноводства

Углеродные калькуляторы – программы для расчёта эмиссии парниковых газов (углеродного следа) от сельскохозяйственного производства в масштабах одного предприятия. Они созданы на основе методик МГЭИК, но пока не используются в России. Цель исследования состояла в анализе эффективности их применения для оценки эмиссии от животноводства и разработке рекомендаций по её снижению. В качестве объектов исследования были выбраны четыре наиболее распространенных калькулятора: Cool Farm Tool, AgRE-Calc, Farm Carbon Calculator и Ex-Act. Среди них наиболее удобным и эффективным был признан Cool Farm Tool. Тогда как в AgRE Calc и Farm Carbon Calculator недостаточно полно представлены технологические особенности выращивания животных. Ex-Act мало пригоден для сектора животноводства, поскольку базируется на изменении землепользования.

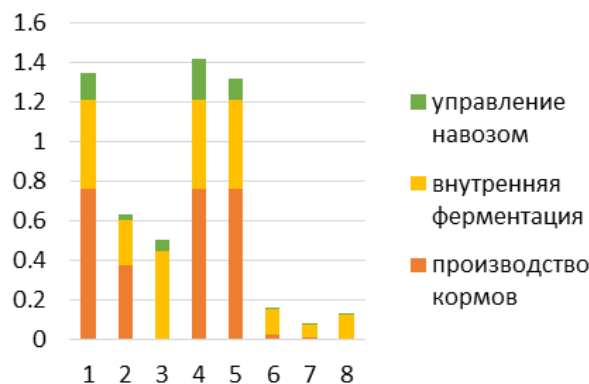


Результаты расчётов для коров на основе программы Cool Farm Tool, т CO₂-экв./гол.·год
1 – исходный вариант (полный рацион, навоз компостируется)

- 2 – половина поголовья
- 3 – без зелёного корма (силос, зерно, солома)
- 4 – без зелёного корма и силоса (зерно, солома)
- 5 – без зелёного корма, силоса, зерна (солома)
- 6 – полный выпас
- 7 – хранение навоза в твёрдом виде
- 8 – 50% навоза хранится, 50% разбрасывается
- 9 – разбрасывание навоза на полях

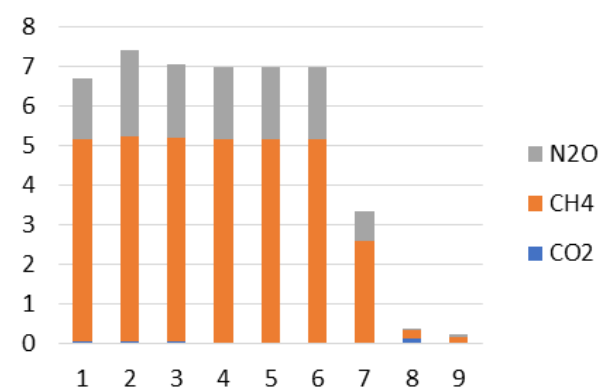
Суховеева О.Э. Углеродные калькуляторы как инструмент для оценки эмиссии парниковых газов от животноводства // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497, № 1. С. 96-102. DOI: 10.31857/S2686739721030117

Sukhoveeva O.E. Carbon calculators as a tool for assessing greenhouse gas emissions from livestock // Doklady Earth Sciences. 2021. Vol. 497, no. 1. P. 266–271. DOI: 10.1134/S1028334X21030119



Результаты расчётов для лошадей и овец на основе программы Cool Farm Tool, т CO₂-экв./гол.·год
Лошади

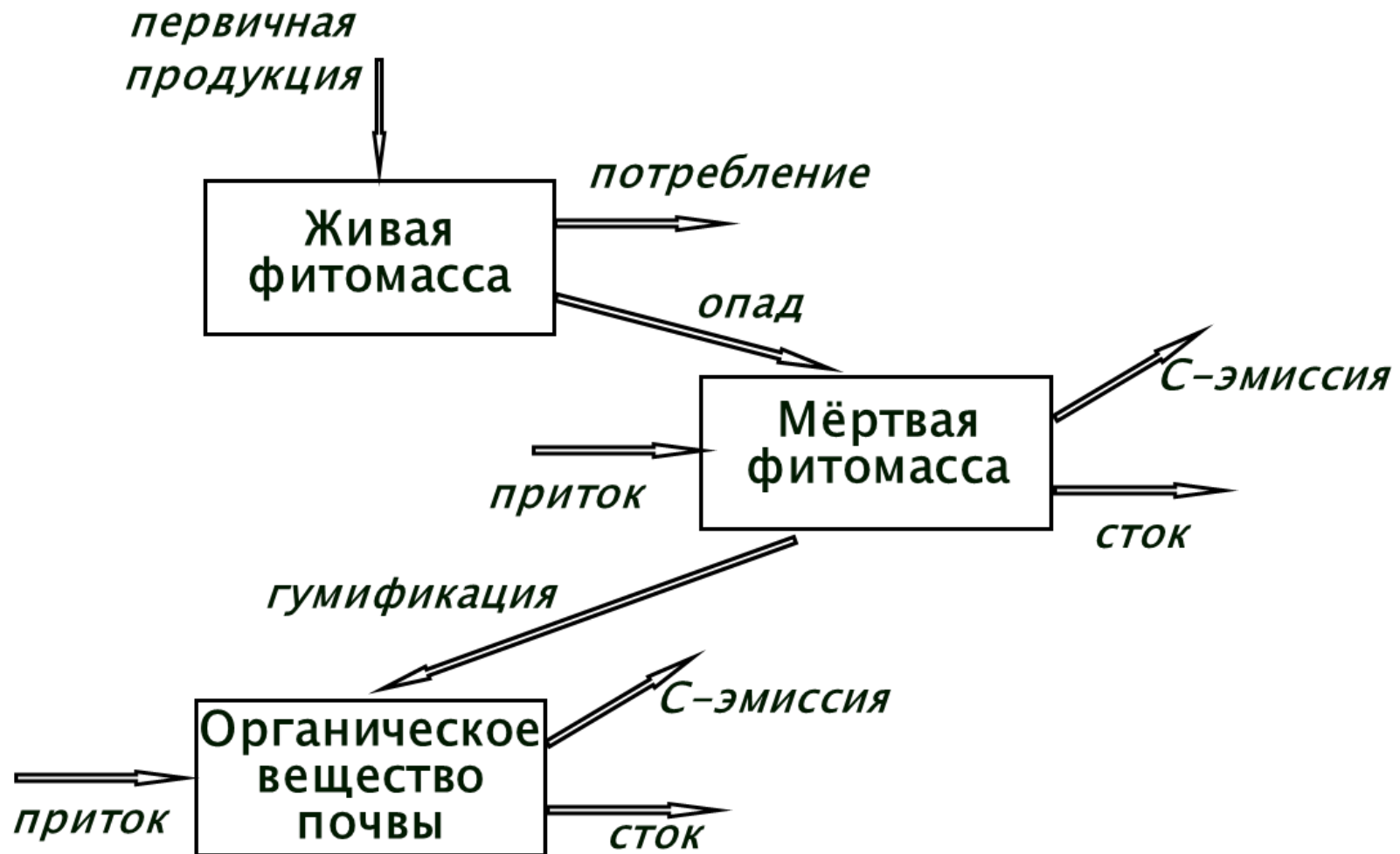
- 1 – исходный вариант (полный рацион, навоз остаётся на полях)
- 2 – половина поголовья
- 3 – полный выпас
- 4 – навоз компостируется
- 5 – 50% навоза хранится, 50% разбрасывается
- Овцы
- 6 – исходный вариант (выпас с подкормкой, навоз на полях)
- 7 – половина поголовья
- 8 – полный выпас



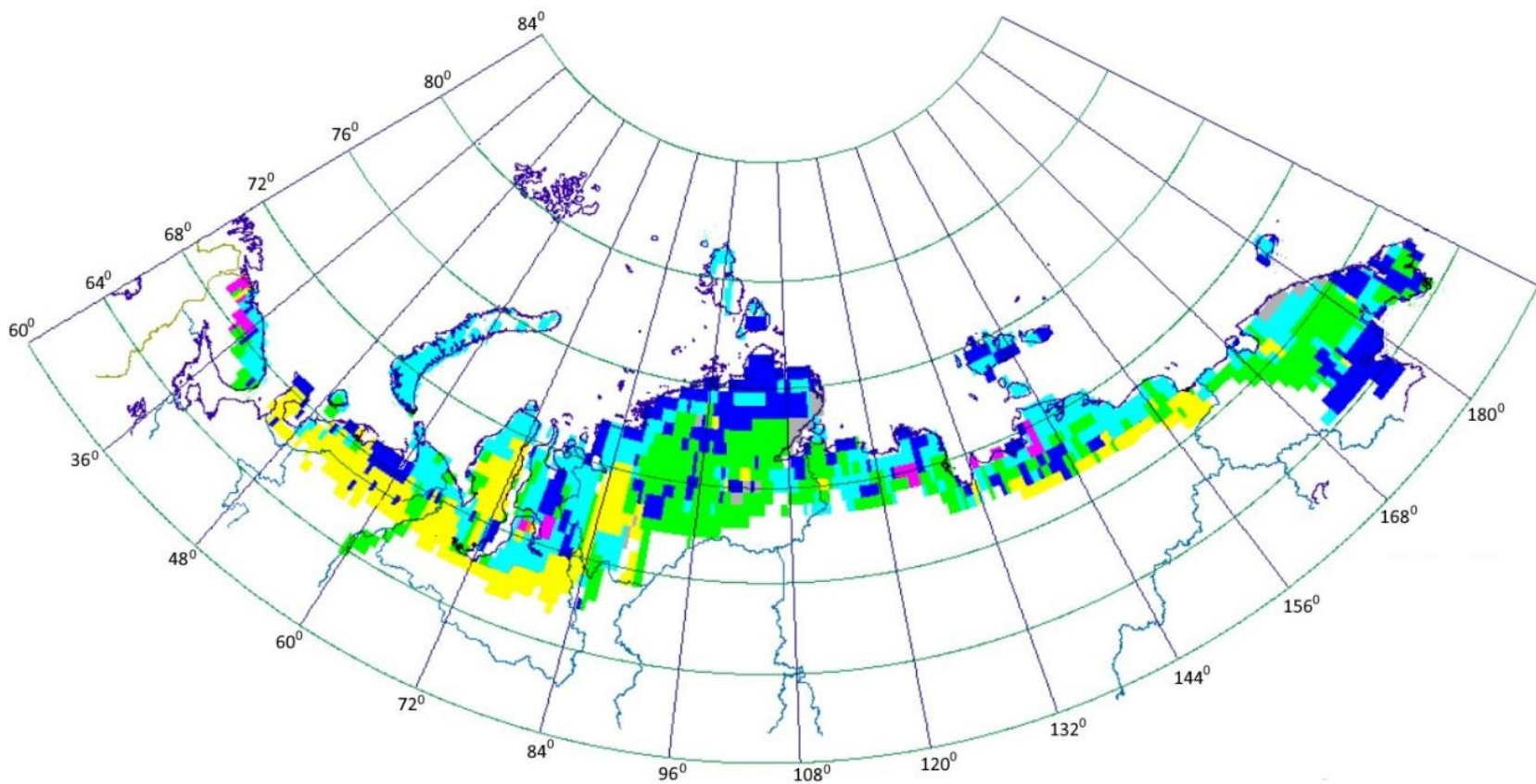
Результаты расчётов для коров и овец на основе программы AgRE Calc, т CO₂-экв./гол.·год
Коровы

- 1 – полный рацион, хранение навоза в твёрдом виде
- 2 – полный рацион, разбрасывание навоза по полям
- 3 – полный рацион, 50% навоза хранится, 50% разбрасывается
- 4 – без зелёного корма (силос, зерно, солома)
- 5 – без зелёного корма и силоса (зерно, солома)
- 6 – без зелёного корма, силоса, зерна (солома)
- 7 – половина поголовья
- Овцы
- 8 – выпас с подкормкой
- 9 – полный выпас

Модель углеродного цикла в тундровых и лесотундровых экосистемах



Изменение запасов углерода в тундровых и лесотундровых экосистемах 1980–2020 гг.



гС/м²

Grey	< -600	Dark Blue	-300 ... 0	Green	300 ... 600
Purple	-600 ... -300	Light Blue	0 ... 300	Yellow	> 600

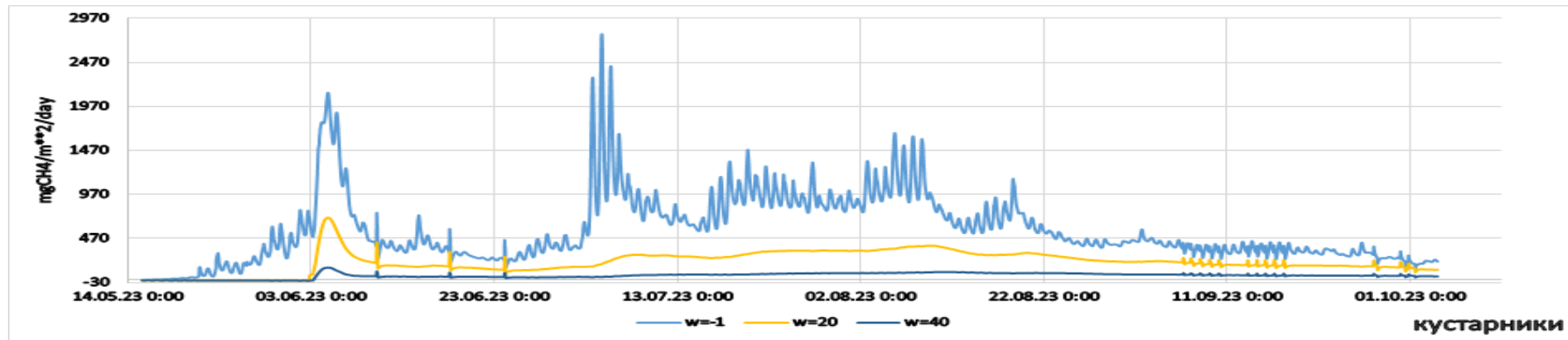
В живой фитомассе +0.5 ГтС

В мортмассе +0.3 ГтС

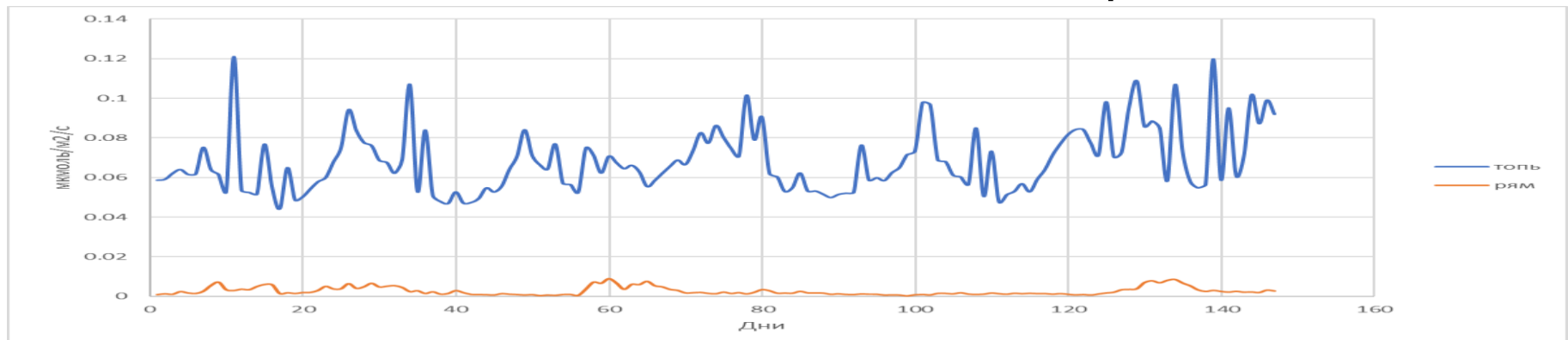
В органическом веществе почвы +0.1 ГтС

Увеличение общего запаса углерода на 0.9 ГтС

Моделируемая эмиссия метана для участка Мухрино, при различном уровне грунтовых вод



Поток метана по данным измерений



! Без описания подсеточного рельефа болота невозможно учесть вклад мочажин и топей.

Основные результаты за 2023 г.

- Сформирован комплекс моделей для оценки бюджета углерода в основных типах наземных экосистем, представленных на территории Российской Федерации.
- Получены прогнозные оценки нетто-поглощения углерода на локальном, региональном и национальном уровнях в основных типах наземных экосистем при разных управленческих и климатических сценариях.

Планы на 2024 год: лесные экосистемы

- Интеграция модели динамики органического вещества почвы с глобальной лесной моделью G4M.
- Параметризация моделей на основе общедоступных национальных и глобальных наборов данных.
- Получение прогнозных оценок нетто-поглощения углерода лесными территориями РФ при разных управленческих и климатических сценариях.
- Получение прогнозных оценок нетто-поглощения углерода на региональном уровне.

Планы на 2024 год: тундры и лесотундры

- Выполнение модельных расчетов запасов углерода и интенсивностей потоков углеродного газообмена для исследуемых экосистем РФ при выбранных сценариях изменений климата.
- Формирование на основе модельных расчетов базы данных запасов и интенсивностей потоков углерода в тундровых и лесотундровых экосистемах РФ при климатических изменениях.
- Создание картосхем динамики запасов и потоков углерода в тундровых и лесотундровых экосистемах Российской Федерации для рассматриваемых климатических сценариев.

Планы на 2024 год: агроэкосистемы

- Прогноз сравнительной эффективности углерод-сберегающих агротехнологий на пахотных почвах Нечерноземной зоны и на пахотных черноземах в долгосрочной секвестрации органического углерода.
- Предложения по использованию методики расчётов потенциала секвестрации углерода углерод-сберегающими агротехнологиями при построении карт потенциала секвестрации почвенного органического углерода на основе пространственно-распределенных данных.
- Методическое руководство по экономическому обоснованию сценариев управления запасами углерода почвы в длительных полевых опытах в условиях изменения климата и при внедрении углерод-сберегающих агротехнологий.

Формат общей БД

Таблица OUPUTS – результаты имитационных экспериментов

Поле	Расшифровка
ID	Уникальный идентификатор записи
LAT, LON	Географические координаты
REG	Дополнительный признак для географической привязки
SQ	Площадь, га
STEP	Текущий шаг моделирования, лет
RUN	Уникальный идентификатор имитационного эксперимента
C_PHYTO	Запас углерода в живой фитомассе на текущем шаге, т га ⁻¹
C_DOM	Запас углерода в мортмассе на текущем шаге, т га ⁻¹
C_SOM	Запас углерода в органическом веществе почвы на текущем шаге, т га ⁻¹
C_REMOVE	Поток отчуждаемого из экосистемы углерода, т га ⁻¹ год ⁻¹
C_EMIS	Гетеротрофное дыхание, т га ⁻¹ год ⁻¹
C_RUNOFF	Прочие потери углерода экосистемой, т га ⁻¹ год ⁻¹
C_NPP	Чистая первичная продукция, т га ⁻¹ год ⁻¹
C_INCOME	Прочие входящие потоки углерода в экосистему, т га ⁻¹ год ⁻¹
C_NEP	Экосистемный баланс углерода на текущем шаге, т га ⁻¹ год ⁻¹

Формат общей БД

Таблица RUNS– описания имитационных экспериментов

Поле	Расшифровка
ID	Уникальный идентификатор записи
MODEL	Используемая модель или комплекс моделей
ECO_TYPE	Тип экосистем
MNG_SC	Описание управленческого сценария
CLIM_SC	Описание климатического сценария
REF	Ссылка на публикацию, если есть
COMMENT	Прочие примечания

Дополнения:

- Более детальное описание пулов и потоков
- Формализация описания управленческих и климатических сценариев
- Дополнительная географическая привязка – в таблице RUNS

Благодарим за внимание!

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).