

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ БЮДЖЕТА УГЛЕРОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю., Виндекер Г.В.,
Орлова К.С., Жулидова Д.А., Соколев Н.С.,
Шишконова Е.А., Коновалова А.П.,
Колчанова К.А.

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
Институт экологии РУДН

ВИПГЗ «ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ», НОЦ «УГЛЕРОД В
ЭКОСИСТЕМАХ: МОНИТОРИНГ»
(Соглашение №ВИП ГЗ/24-4 от 11 марта 2024 г.)

Российская система климатического мониторинга



Важнейший инновационный проект государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»). Проект курирует Минэкономразвития РФ.

Цель: разработать национальную систему мониторинга запасов углерода и потоков парниковых газов совместимой с системой IPCC

Шесть научных консорциумов:

K1. Земная система: моделирование и прогноз;

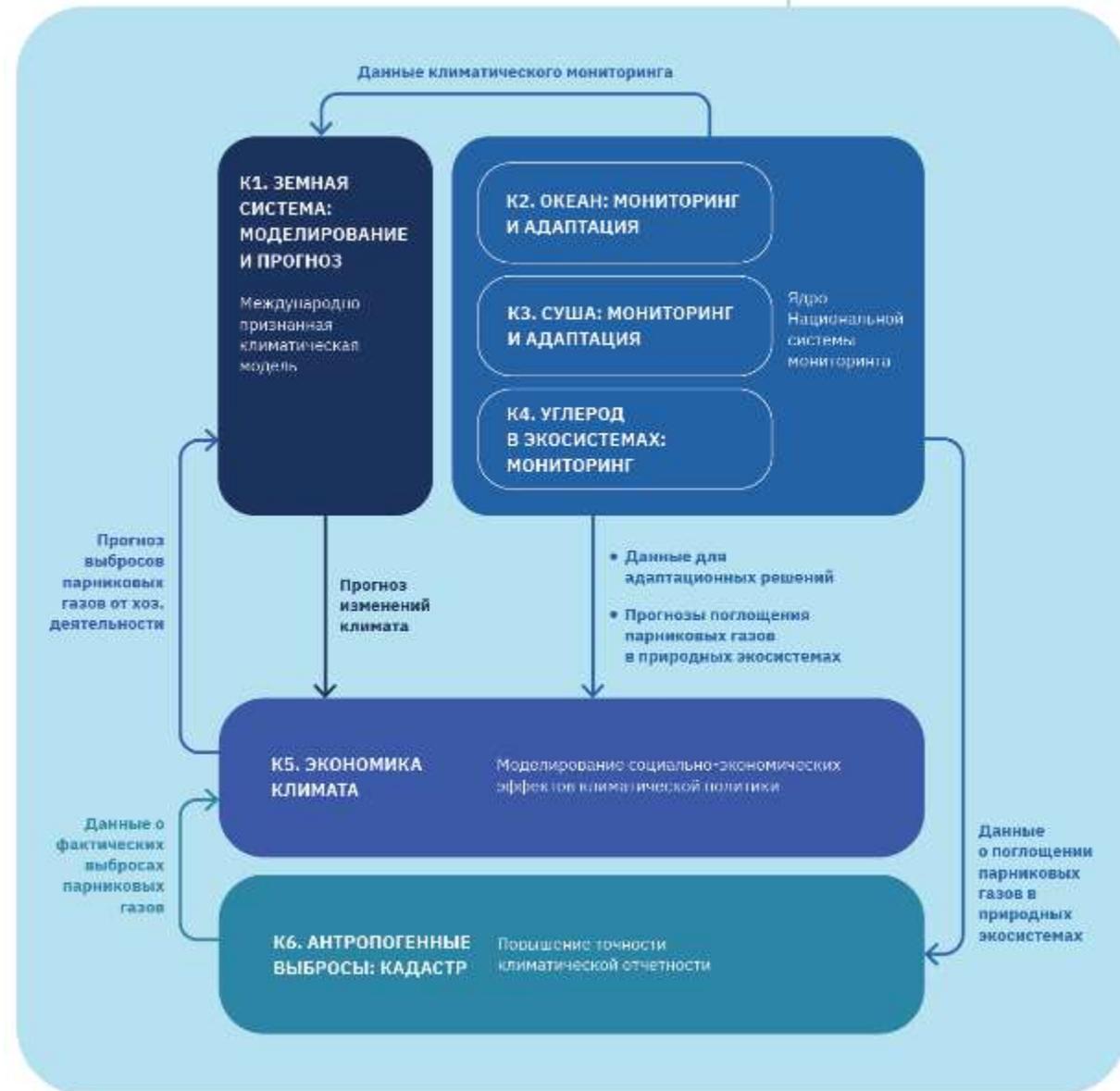
K2. Океан: мониторинг и адаптация;

K3. Суша: мониторинг и адаптация;

K4. Углерод в экосистемах: мониторинг (консорциум «РИТМ углерода»);

K5. Экономика климата;

K6. Антропогенные выбросы: кадастр.





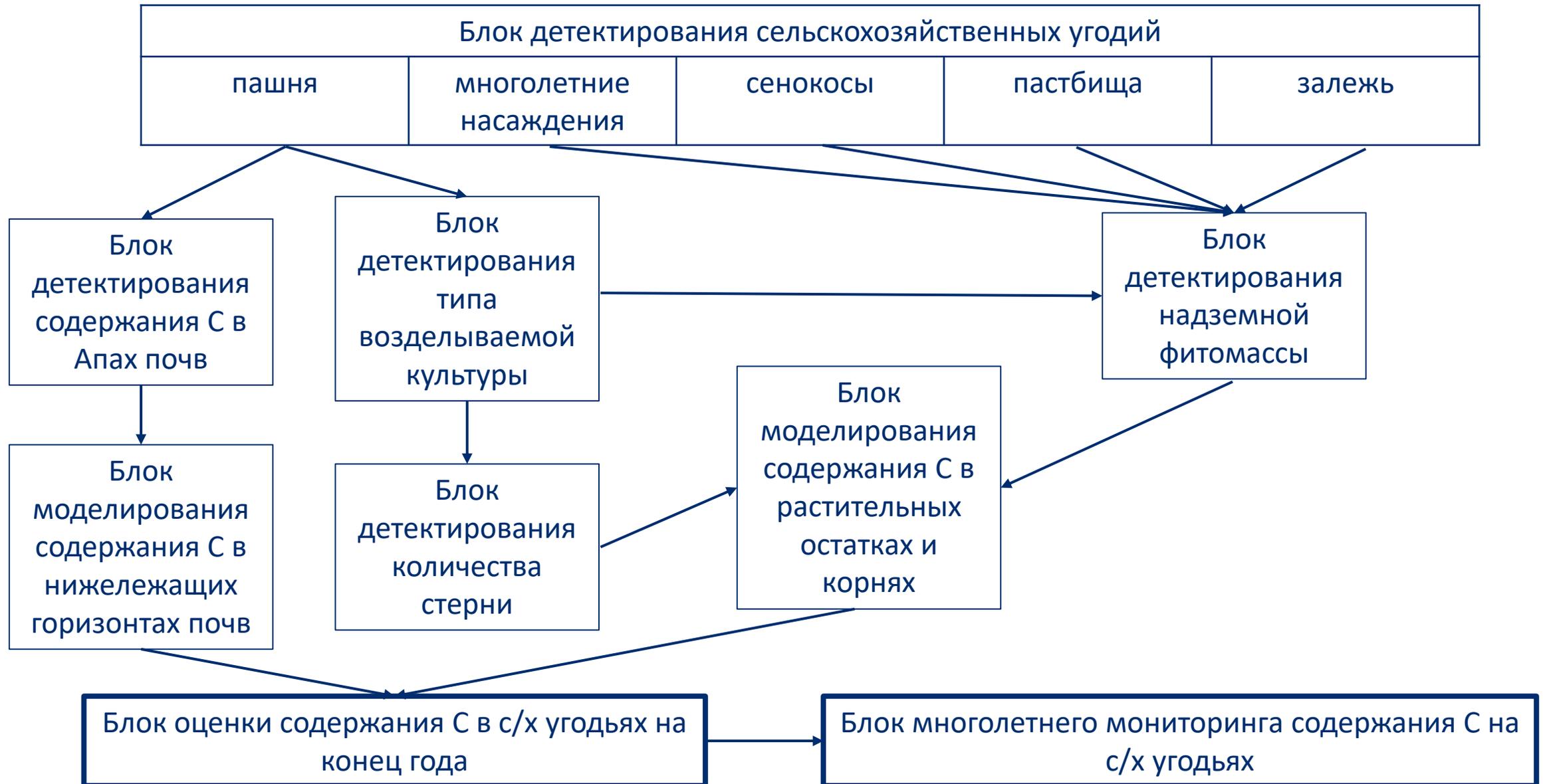
IPCC

- **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) с модификациями**
- Для почв по стандарту оценка бюджета и отслеживание его изменений с периодичностью в 20 лет для слоя 0-30 см. Но может быть более детальным в зависимости от наличия данных.
- Учет сельскохозяйственных угодий и переходов между ними
- 3 основных уровня анализа (Tier I, II, III):
 1. на основе стандартной информации IPCC
 2. с коррекцией стандартных коэффициентов IPCC
 3. с дополнительным привлечением моделирования

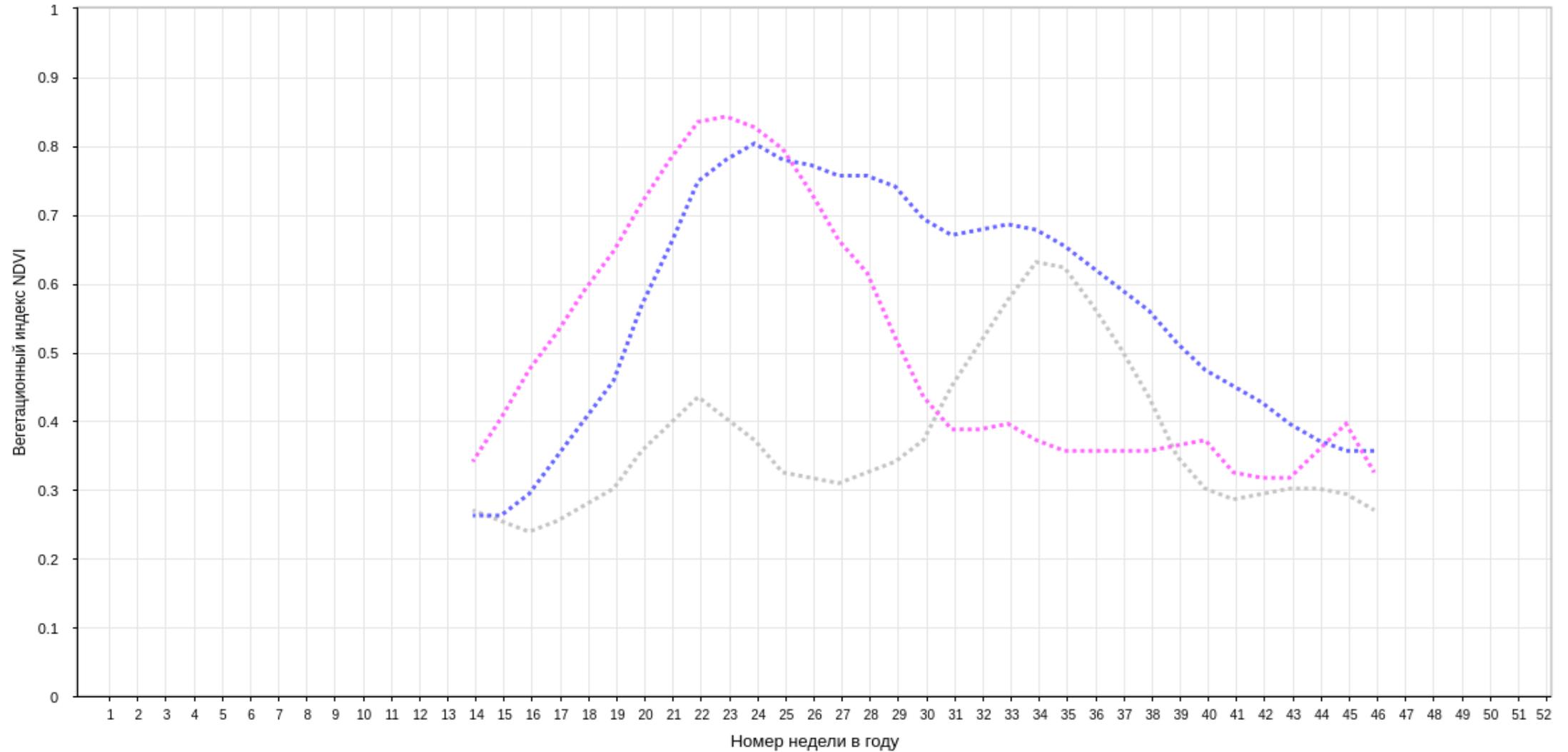
Объект мониторинга

Динамика угодий	Динамика содержания углерода	Динамика С в процессах
<p><u>переходы между типами угодий:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Пашня• Многолетние насаждения• Залежь• Сенокосы• Пастбища	<p><u>Определение содержания С в компонентах агроландшафта:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• В растительности• В опаде и остатках• В урожае• В почве	<p><u>Моделирование процессов:</u> дыхание, эмиссия, разложение остатков, эрозия, дефляция, иллювирирование, связывание, трансформация...</p>

Основные блоки системы мониторинга

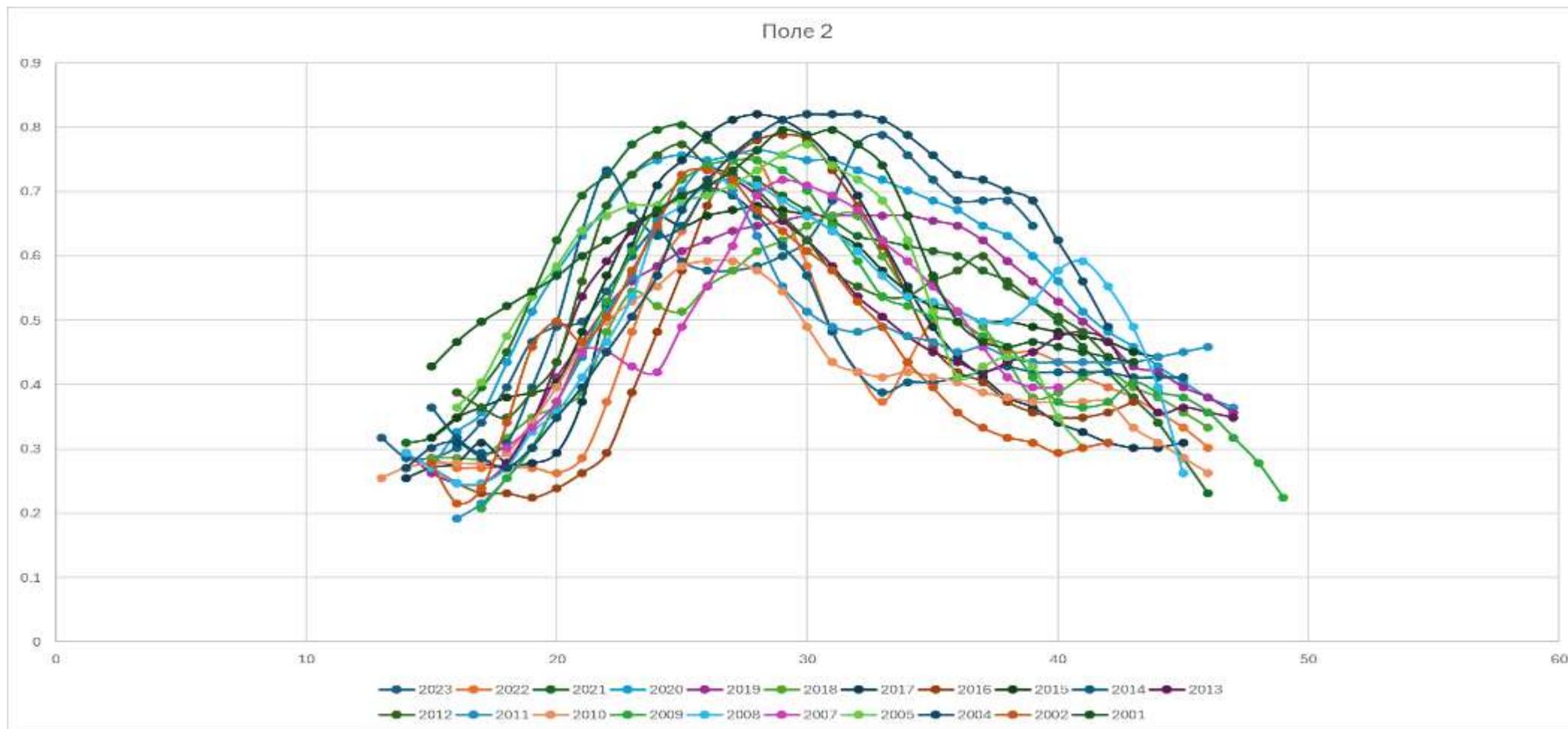


Детектирование угодий



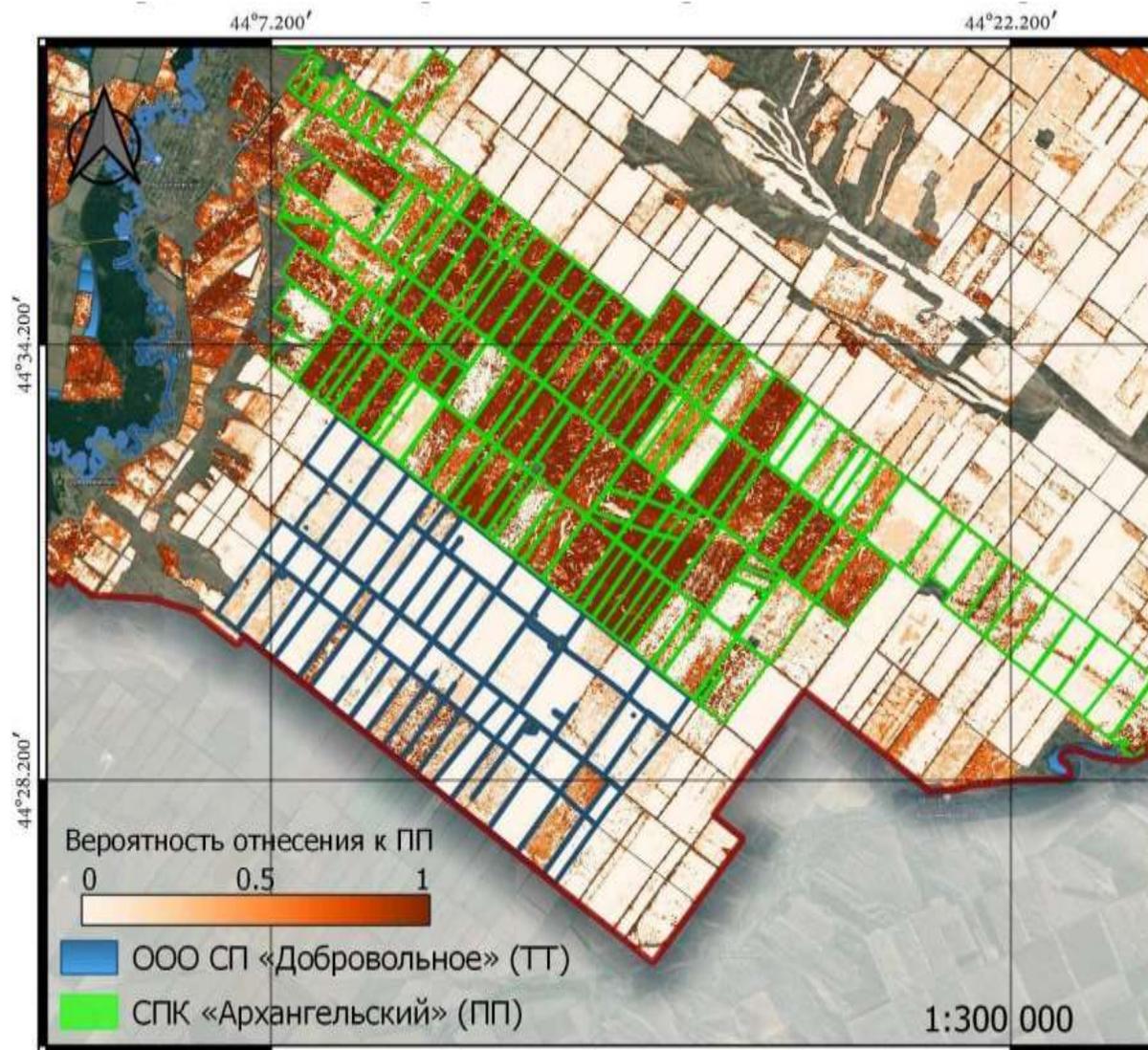
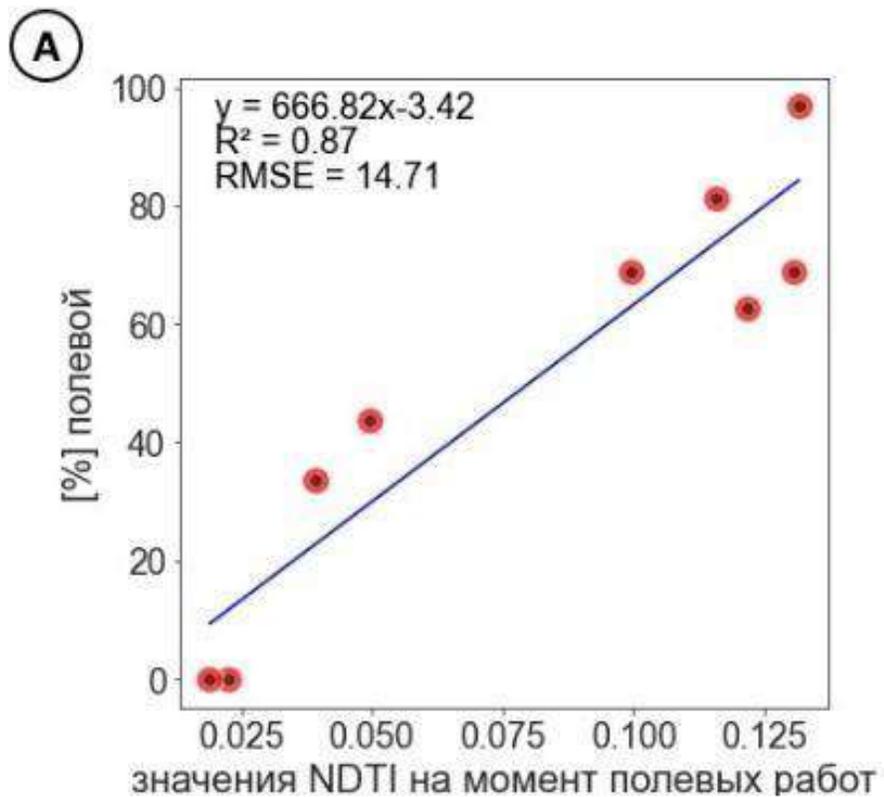
Пример кривых вегетационного индекса NDVI: синяя пунктирная линия соответствует залежи, розовая пунктирная линия — пашне, серая — сенокосу.

Кривые NDVI для одного из тестовых полей и расшифровка сельскохозяйственных культур для него по годам (на основе данных NDVI MODIS)



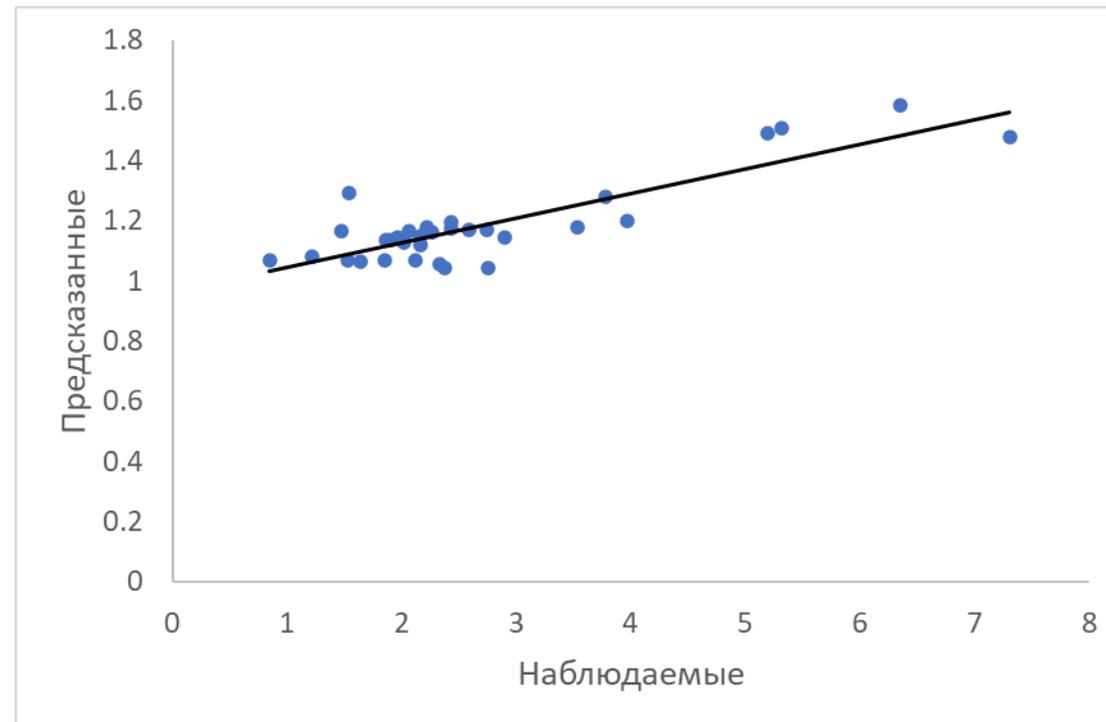
2001 – кукуруза на силос; 2002 – ранние яровые; 2004 – картофель; 2005 – картофель; 2007 – ранние яровые; 2008 – ранние яровые; 2009 – ранние яровые; 2010 – ранние яровые; 2011 – ранние яровые; 2012 – озимые; 2013 – ранние яровые; 2014 – ранние яровые; 2015 – картофель; 2016 – кукуруза на силос; 2017 – кукуруза на силос; 2018 – картофель; 2019 – травы; 2020 – травы; 2021 – травы; 2022 – ранние яровые; 2023 – картофель

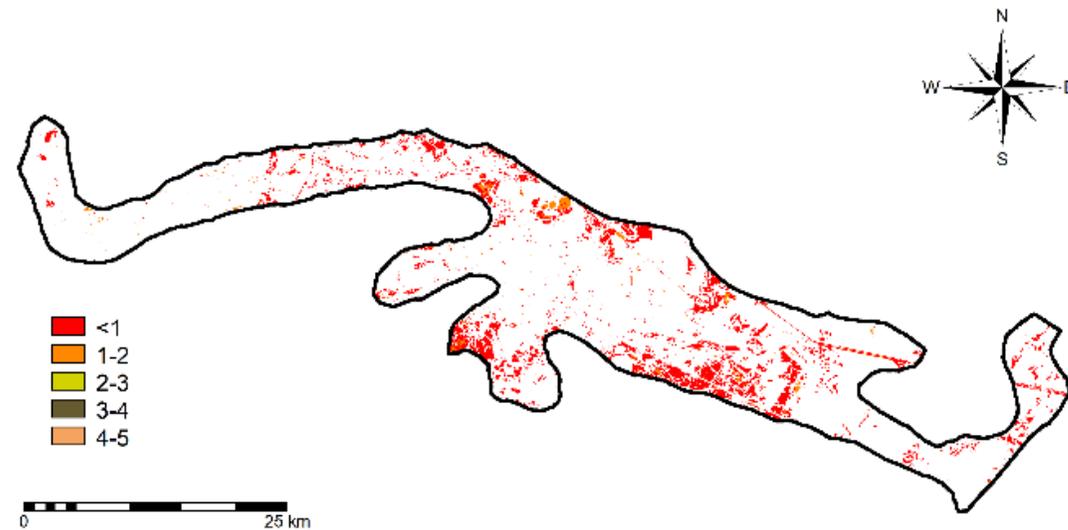
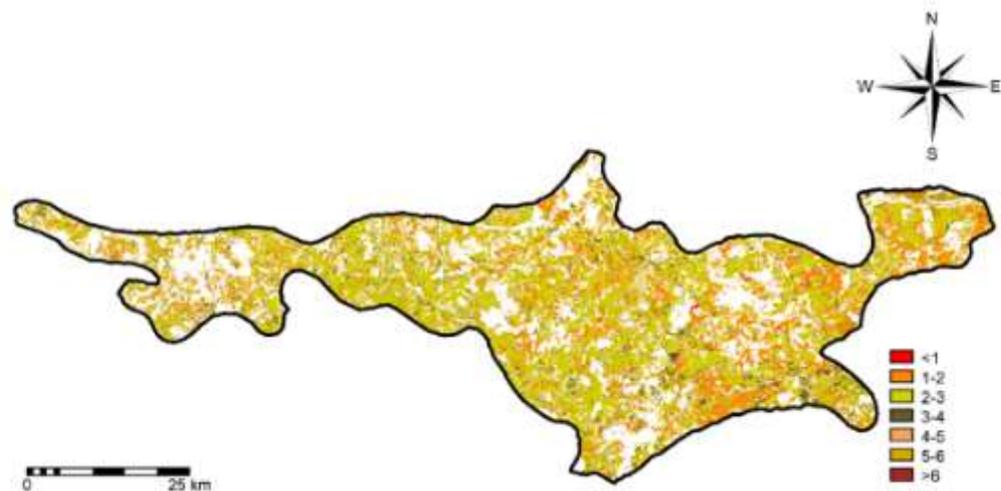
Детектирование количества стерни



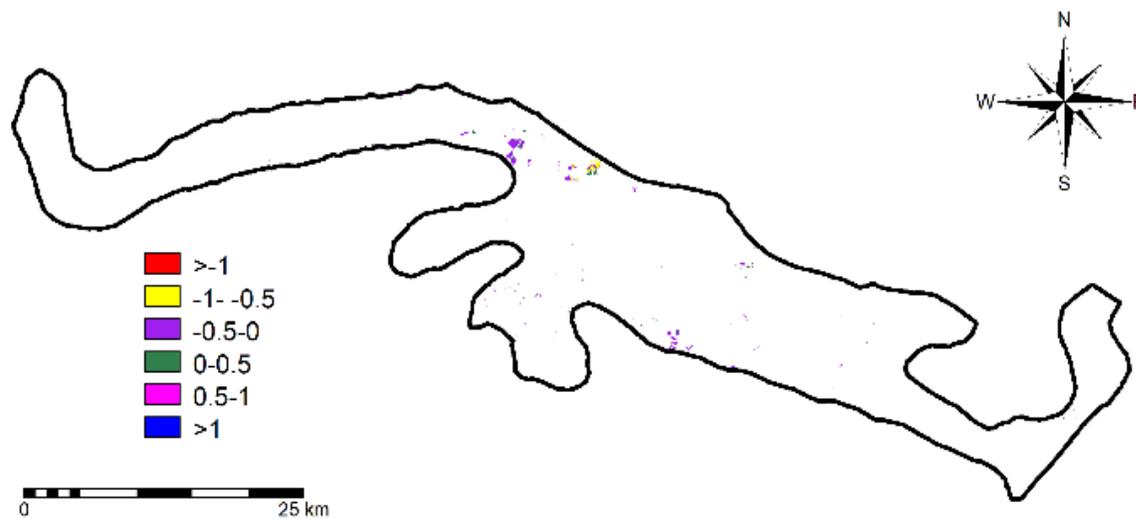
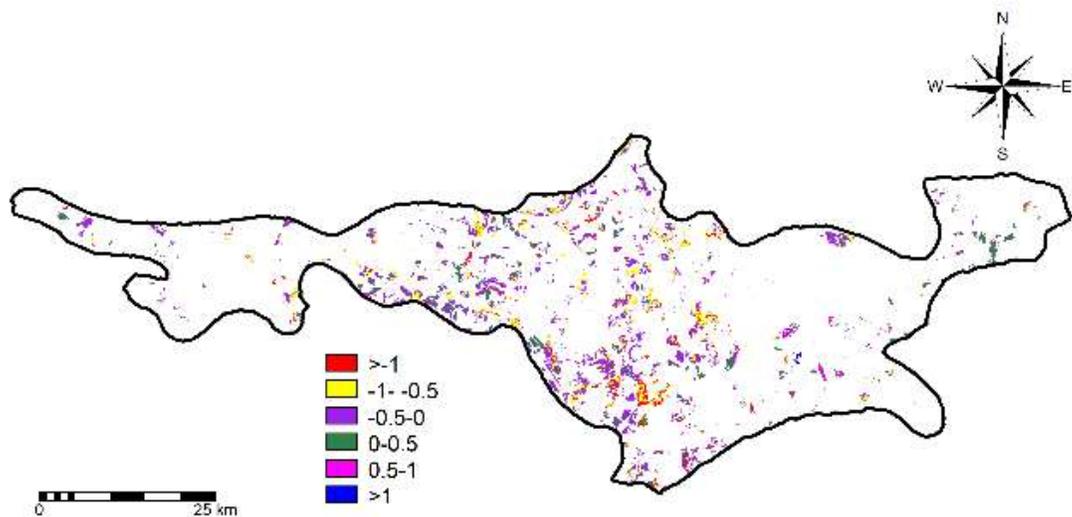
По данным Н.Р. Ермолаева 2023 года

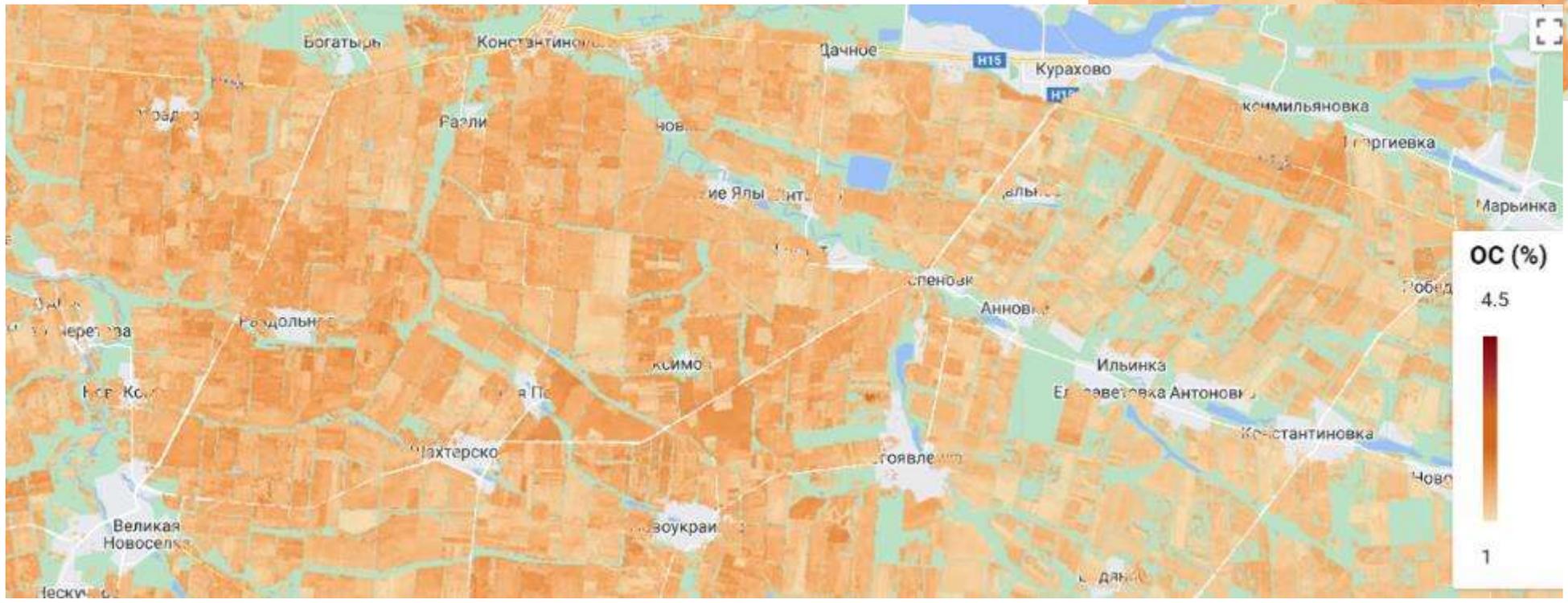
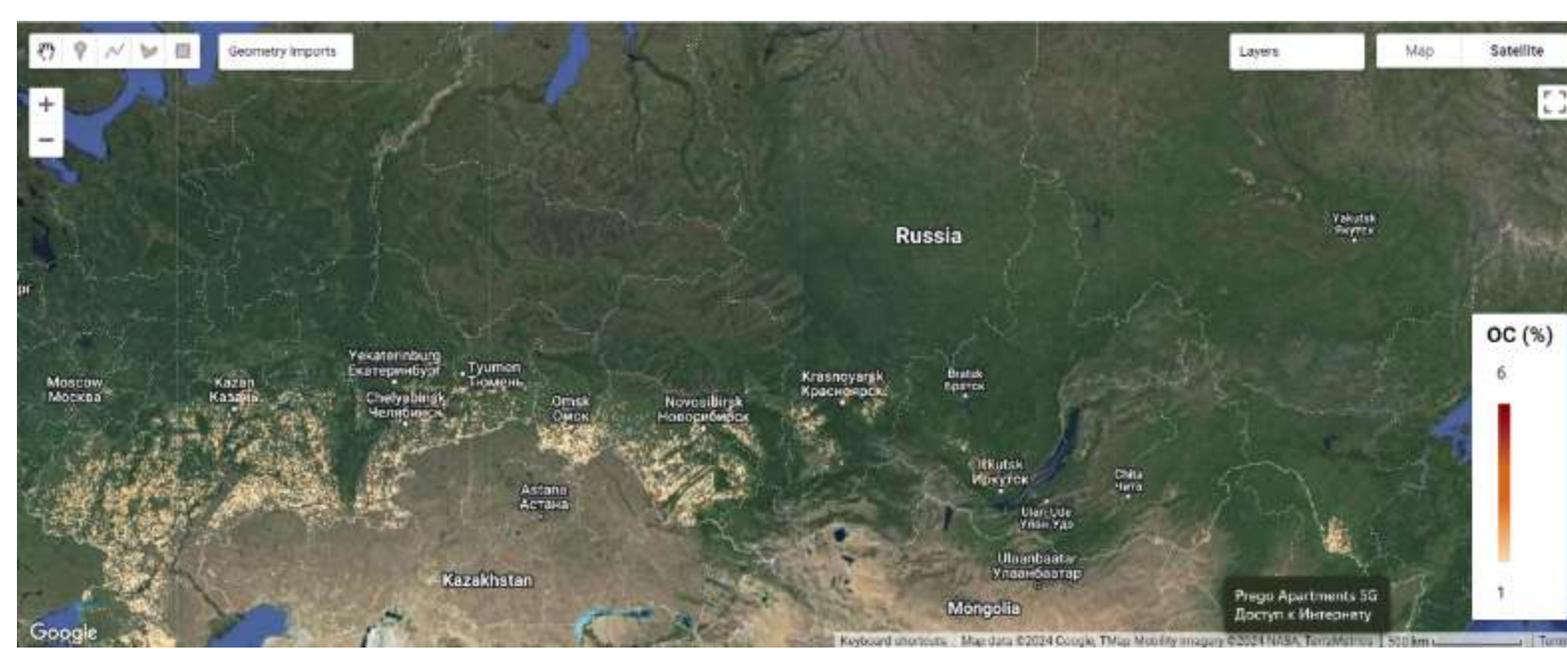
Наблюдаемые-Предсказанные значения содержания ОУП





Базовые карты содержания С в пахотном горизонте почв и их изменение для двух выделов районирования





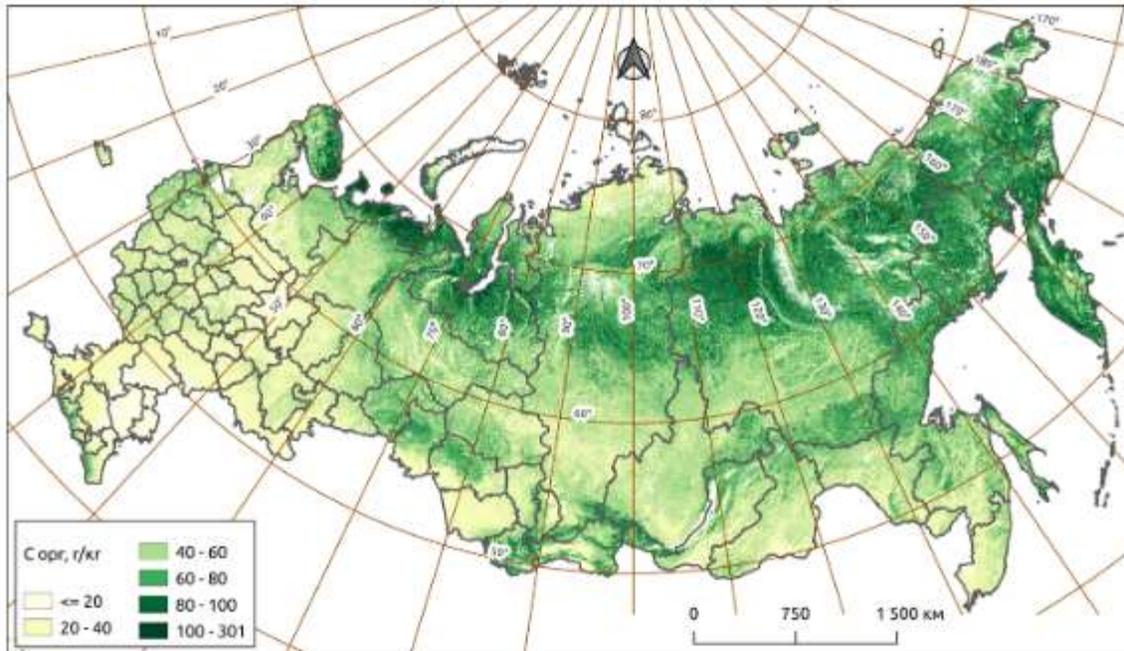
Содержание углерода в почвах

- Содержание С в пахотном горизонте почв по спутниковым данным + моделирование содержание С в нижележащих горизонтах

Моделирование содержания углерода в почвах

0-30 см

30-100 см



Уравнения регрессии для определения значений поступающего в почву углерода с корнями и растительными остатками различных культур, в зависимости от их урожайности

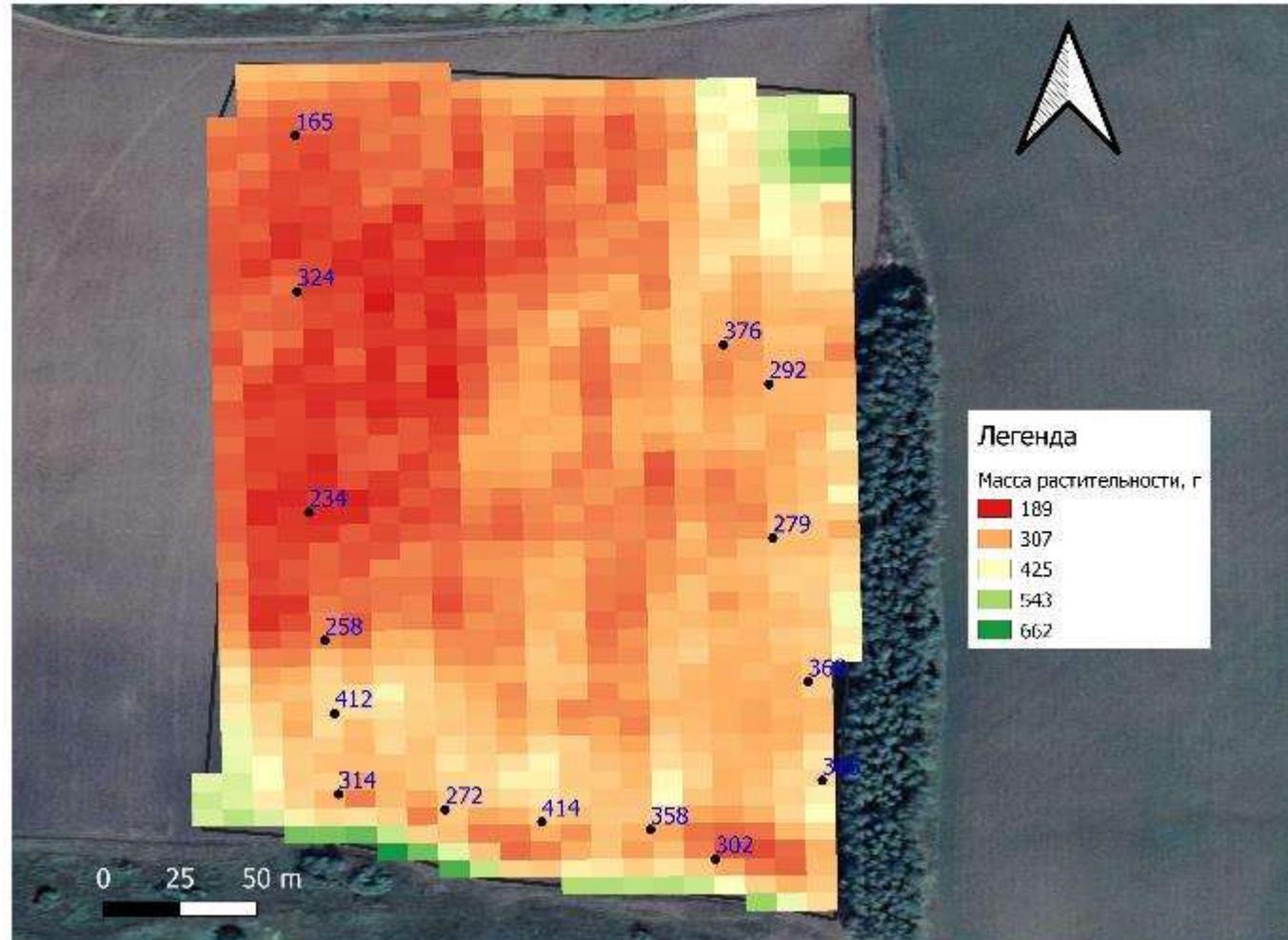
Культура	Урожайность, ц/га	Углерод, поступающий с	
		поверхностными остатками (Ab)	корнями (Un)
озимая рожь	10 - 25	$= (0,3Y + 3,2) 45/100$	$= (0,6Y + 8,9) 45/100$
	26 - 40	$= (0,2Y + 6,3) 45/100$	$= (0,6Y + 13,9) 45/100$
озимая пшеница	10 - 25	$= (0,4Y + 2,6) 48,53/100$	$= (0,9Y + 5,8) 48,53/100$
	26 - 40	$= (0,1 Y + 8,9) 48,53/100$	$= (0,7Y + 10) 48,53/100$
яровая пшеница	10 - 20	$= (0,4Y + 1,8) 48,53/100$	$= (0,7Y + 10,2) 48,53/100$
	21 - 30	$= (0,2Y + 5,4) 48,53/100$	$= (0,8Y + 6) 48,53/100$
ячмень	10 - 20	$= (0,4Y + 1,8) 45,67/100$	$= (0,8Y + 6,5) \cdot 45,67/100$
	21 - 35	$= (0,09Y + 7,6) 45,67/100$	$= (0,4Y + 13,45) 45,67/100$
овес	10 - 20	$= (0,3Y + 3,2) 45/100$	$= (1Y + 2 45/100$
	21 - 35	$= (0,15Y + 6,12) 45/100$	$= (0,4Y + 16) 45/100$
картофель	50 - 200	$= (0,04Y + 1) 42,26/100$	$= (0,08Y + 4) 42,26/100$
	201 - 350	$= (0,03Y + 4,1) 42,26/100$	$= (0,06Y + 8,6) 42,26/100$



Соотношения подземной и надземной фитомассы и содержание в них углерода для основных культур

	Соотношение фракций в общей фитомассе культур, %		Содержание углерода, %	
	Подземная фитомасса	Надземная фитомасса (стерня)	Подземная фитомасса	Надземная фитомасса (стерня)
Пшеница озимая	8,48	91,52 (10,04)	48	45-49
Пшеница яровая	9,53	90,47 (11,37)	48	45-49
Ячмень	4,46	95,54 (16,40)	37-48	46,8-48 (46,9)
Овес	9,13	90,87 (15,83)	45-48	45-46,8 (46,9)
Картофель	61	39	38	43

Пример детектирования надземной фитомассы ярового ячменя по данным Sentinel-2



Необходимая спутниковая информация и ее наличие



	Какие данные нужны	Какие есть
Содержание С в почвах	многоканальные спутниковые данные высокого пространственного разрешения (20-50 метров), получаемые раз в 10-20 дней или чаще в течение весеннего и осеннего периодов съемки в видимой и инфракрасной зонах спектра.	Landsat и/или Sentinel или их китайские и индийские аналоги
Содержание С в растениях	многоканальные или гиперспектральные спутниковые данные высокого пространственного разрешения (10-20 метров), получаемые раз в 5-10 дней в видимой и инфракрасной диапазонах спектра.	Landsat и/или Sentinel или их китайские и индийские аналоги
Отчуждение С с урожаем	многоканальные или гиперспектральные спутниковые данные высокого пространственного разрешения (10-20 метров), получаемые раз в 5-10 дней в видимой и инфракрасной диапазонах спектра.	Landsat и/или Sentinel или их китайские и индийские аналоги



Перспективные направления исследований

- **создание дополнительного научного задела в области:**
 1. изучения спектральной отражательной способности почв и посевов.
 2. уточнение алгоритмов распознавания посевов.
 3. уточнение моделей поведения углерода в почвах и растениях.
 4. уточнения сведений о географии почв страны.
- **уточнение моделей для выделов специализированного районирования**

Заключение

- Возможности современного спутникового мониторинга бюджета углерода на сельскохозяйственных угодьях ограничены лишь некоторыми параметрами.
- Система спутникового мониторинга параметров бюджета углерода может функционировать в ежегодном режиме с точностью 70-80%. Для повышения точности необходим целенаправленный сбор дополнительных полевых данных и доработка алгоритмов с учетом специфики объекта мониторинга.
- Уровень научных достижений в России вполне позволяет решать задачи мониторинга C на с/х землях на третьем уровне методологии IPCC.



Спасибо за внимание!