

Развитие цифровых технологий и информационного обеспечения точного земледелия юга Дальнего Востока

Исследования выполнены при поддержке РНФ, проект 23-76-00007

*Степанов А.С.,
Поляков А.Н.*

ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Указ Президента РФ от 07.05.2018 N 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года".

п. 11. ... **обеспечить** **преобразование** приоритетных отраслей экономики и социальной сферы, включая здравоохранение, образование, промышленность, **сельское хозяйство**, строительство, городское хозяйство, транспортную и энергетическую инфраструктуру, финансовые услуги, посредством внедрения **цифровых технологий** и платформенных решений



Основная цель – цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК (2020 г)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИНСЕЛЬХОЗ РФ

**Создание карты-схемы земель
сельхозназначения РФ (для каждого из
субъектов РФ)
2023? 2024?**

**Инвентаризация земель во всех
регионах, начиная с 2022 года**

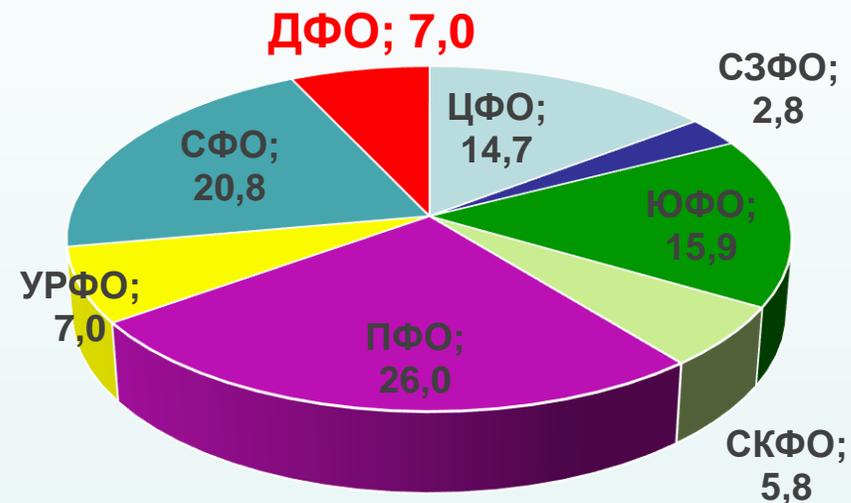
**Проведение микропереписи
сельскохозяйственных земель с
использованием данных ДЗЗ из космоса**

Принято **Постановление Правительства РФ от
14.05.2021 № 731 «О Государственной
программе эффективного вовлечения в оборот
земель сельскохозяйственного назначения
- вовлечение в оборот 13 млн га ранее
использовавшихся и не использовавшихся
сельхозугодий.**

Задача - выявить конкретные земельные участки,
которые больше всего подходят для сельского
хозяйства. Затем планируется осуществить
комплекс мероприятий: агрохимические и
эколого-токсикологические исследования,
**разработка методик исследования,
основанных на получении, накоплении,
проверке и алгоритмах использования
массивов цифровых геопространственных и
временных данных о состоянии почвенного
покрова и возделываемых культур.**

Дальневосточный Федеральный Округ

Доля сельхозугодий в федеральных округах от сельхозугодий РФ, %



	доля залежи, %
ЦФО	1.3
СЗФО	4.1
ЮФО	0.1
СКФО	0.2
ПФО	1.5
УРФО	7.1
СФО	1.8
ДФО	9.1

Дальневосточный Федеральный Округ

- Отсутствие (недостаток) информации по пахотным землям, в т.ч. детализированной
- Недостаточный контроль над арендаторами ЗСН
- Особенности севооборотов и сортовые отличия сельхозкультур региона (сроки посева, уборки и тд)
- Климатические, ландшафтные особенности в пределах макрорегиона



Регионы ДФО: сбор и верификация информации о севообороте, сроках посева, сортовом разнообразии



Работа научной группы ХФИЦ – с 2019 г.

Цифровизация сельского хозяйства: основные задачи исследований

Хабаровский федеральный



исследовательский центр ДВО РАН



ДВ
НИИСХ



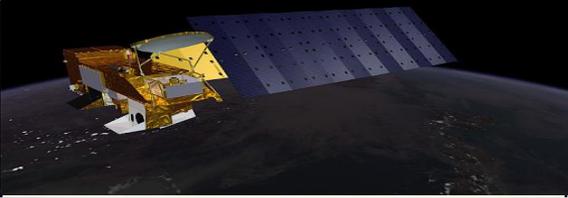
ВЦ
ДВО РАН



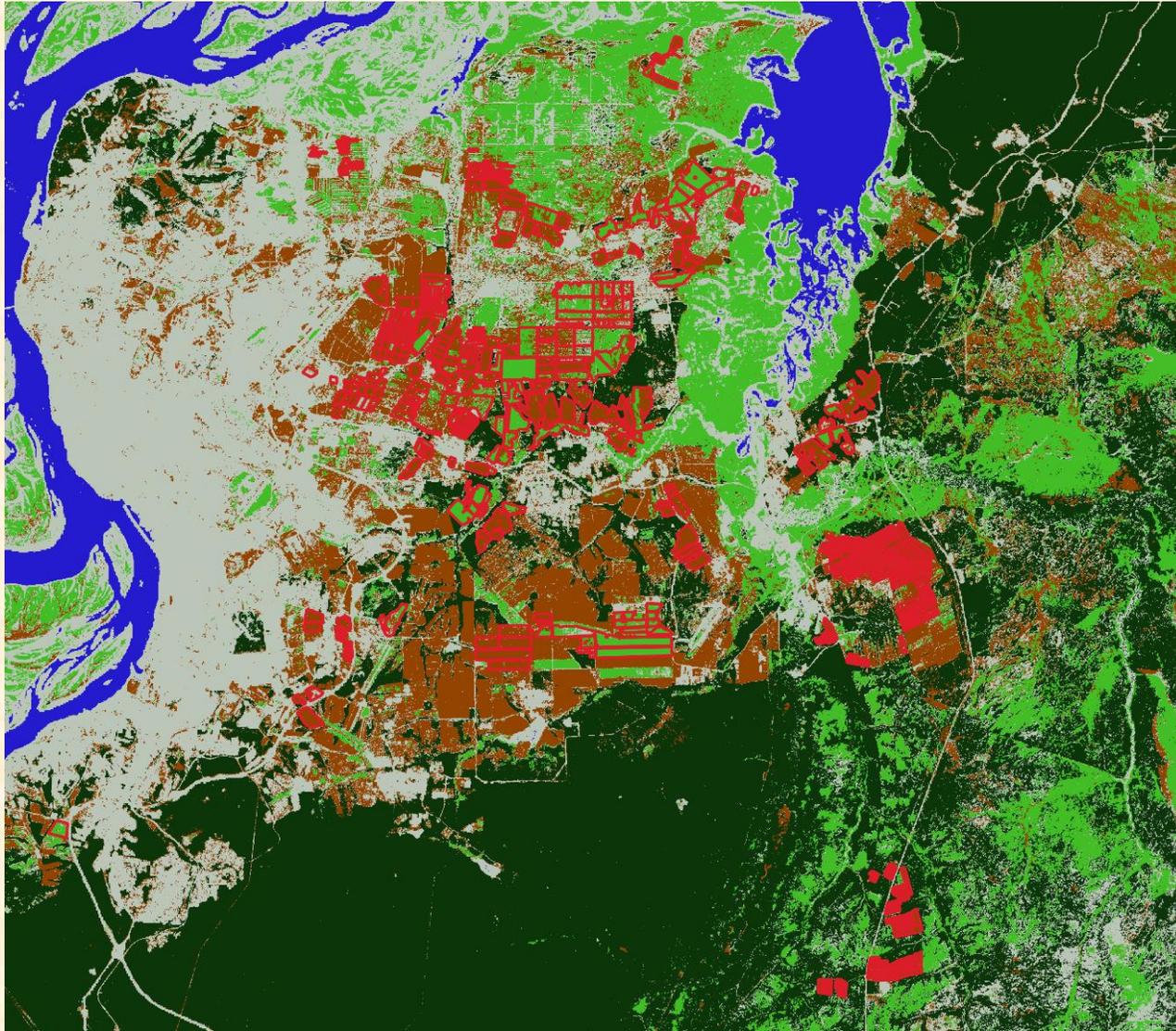
ИВЭП
ДВО РАН

- Распознавание и уточнение границ пахотных земель. Классификация земных покровов. Автоматизированная подготовка shapefiles
- Создание и ведение архивов спутниковых данных, необходимых для управления системами цифрового земледелия. Накопление, хранение, обработка информации о севообороте, урожайности культур, границах отдельных полей
- Изучение особенностей вегетационного развития сельхозкультур ДФО. Моделирование сезонного хода индексов вегетации с использованием данных ДЗЗ
- Классификация сельскохозяйственных земель южной части Дальнего Востока
- Развитие методов прогнозирования урожайности сельхозкультур на основе данных ДЗЗ
- Мониторинг и математическое моделирование агроэкосистем: мониторинг растительных покровов и пахотных земель Хабаровского края (оценка ресурсного потенциала) с использованием данных ДЗЗ. Построение эффективных моделей управления почвенными ресурсами

Данные ДЗЗ

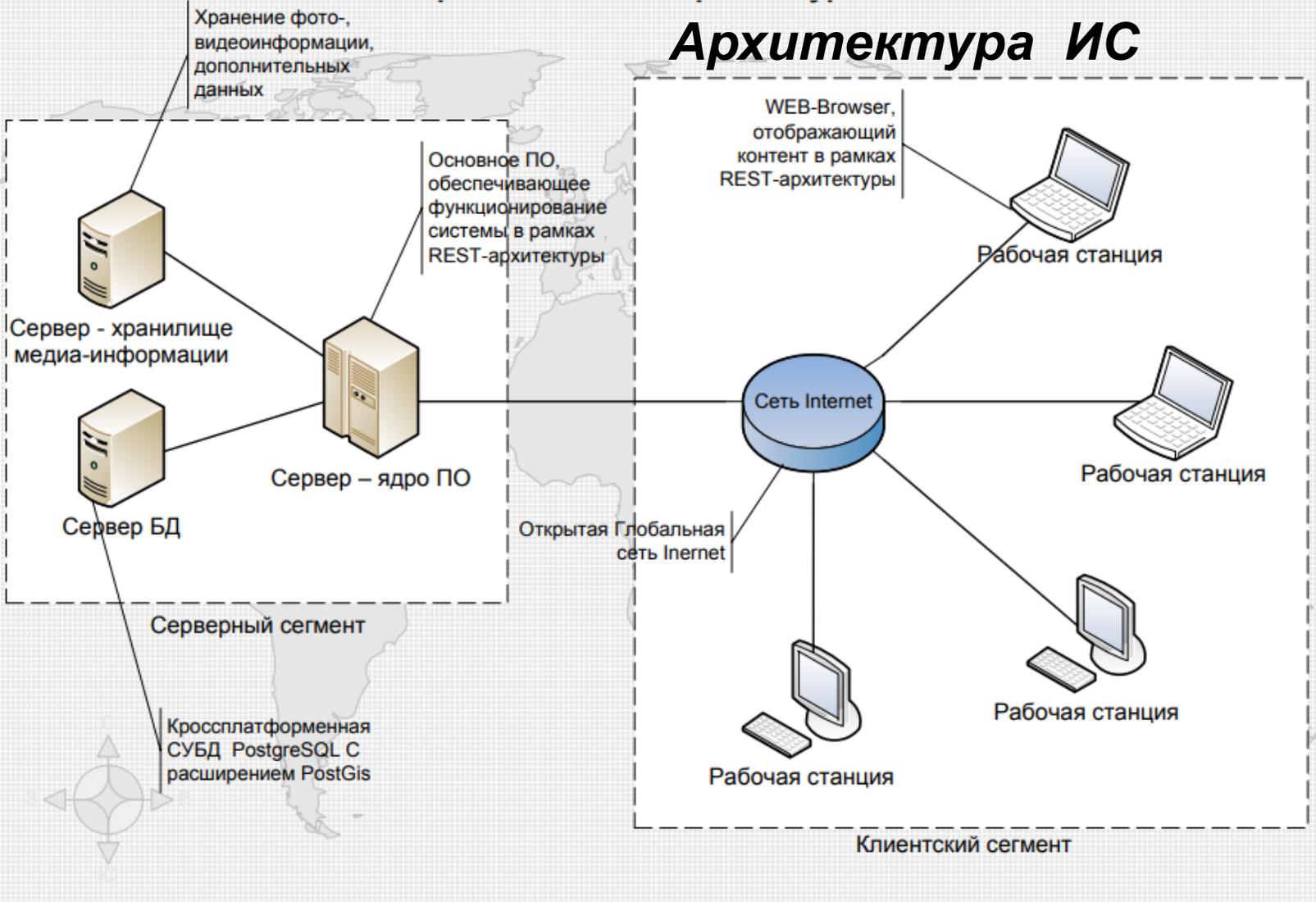
	Sentinel-2	NDVI, EVI, 10 m	<p>Значения спектральных каналов</p> <p>RGB изображения</p> $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$ $SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}(1 + L)$ $EVI = \frac{2.5(NIR - RED)}{NIR + 6RED - 7.5BLUE + 1}$ $RVI = \frac{4\sigma VH^0}{\sigma VV^0 + \sigma VH^0}$
	Sentinel-1	RVI, DpRVI, VH\VV, 14 m	
	MODIS Terra	NDVI, LAI - 250 m, 7 days, VEGA-Science	
	DJI Mavic3 Multispectral	NDVI, EVI, 1 cm	
	Landsat-8, Landsat-9,	NDVI, EVI, 30 m	
	Метеор-М №2	NDVI, EVI, 60 m	

Распознавание и уточнение границ пахотных земель. Классификация земных покровов. Автоматизированная подготовка shapefiles



- **Полносверточная сеть U-net (RGB)**
- **QGIS -Semi-Automatic Classification Plugin (RGB), Orfeo ToolBox (NDVI, EVI)**
- **Облачный сервис GEE с использованием алгоритма CART (Classification and Regression Tree) NDVI**

Создание и ведение архивов спутниковых данных, необходимых для управления системами цифрового земледелия

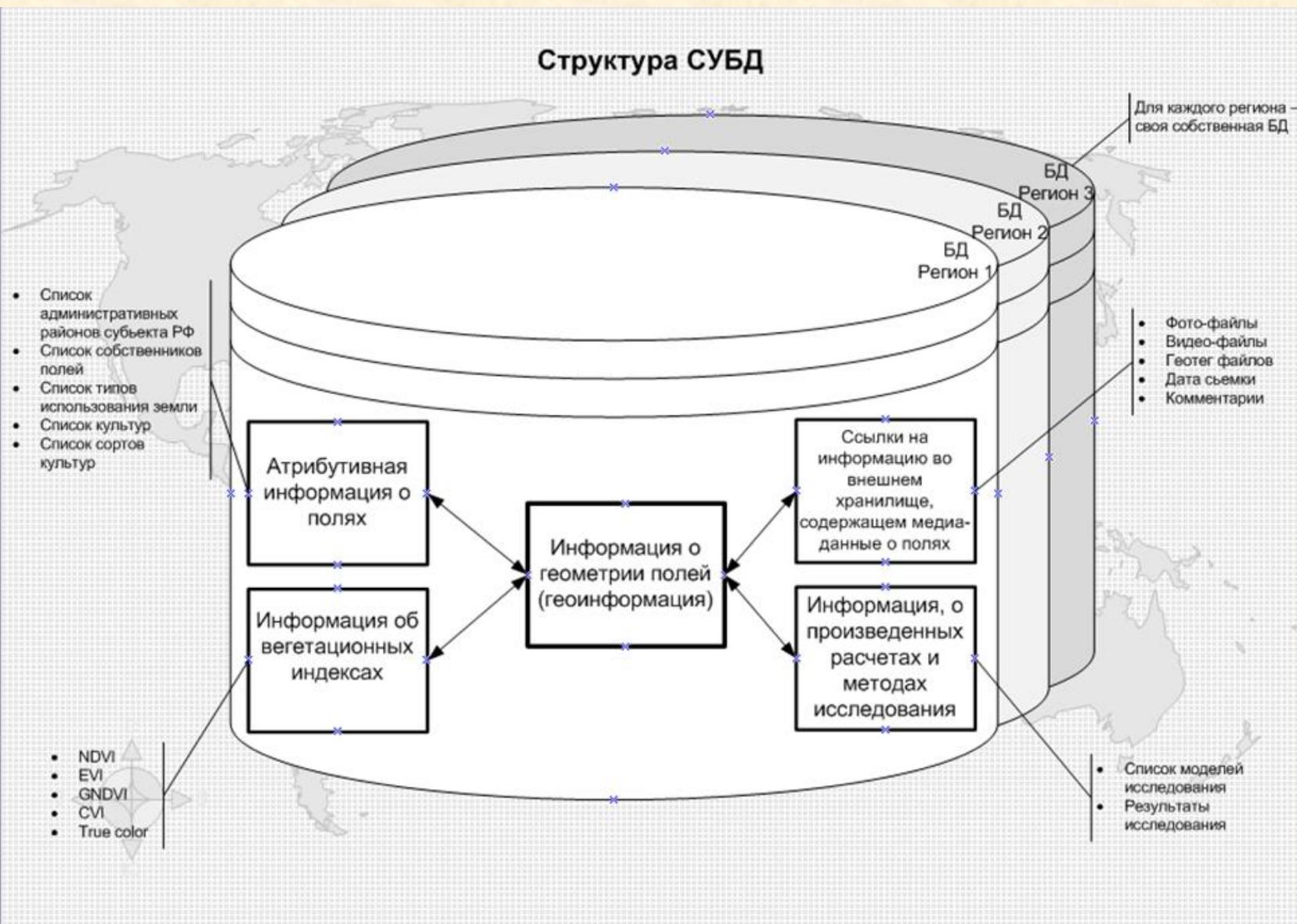


- 2 уровня – клиентский и серверный

- 3 подуровня в серверном сегменте – СУБД, ПО, хранение медиа

PostgreSQL - возможность работы с геоданными (PostGis), надежность, устойчивость, масштабируемость, расширяемость, свободное распространение

Создание и ведение архивов спутниковых данных, необходимых для управления системами цифрового земледелия



• **«Атрибутивная информация о полях»** содержит перечень муниципалитетов, список собственников полей, тип пахотных земель, сельхозкультуры со спецификацией по сортам

• **«Информация о вегетационных индексах»** - данные о рассчитанных различными способами индексах вегетации

• **«Геоинформация»** - контуры полей

• **«Медиаданные»** - хранение фото и видеофайлов

• **«Информация о методах»** содержит информацию о методах, моделях исследования, результатах расчетов

Моделирование сезонной динамики вегетационных индексов



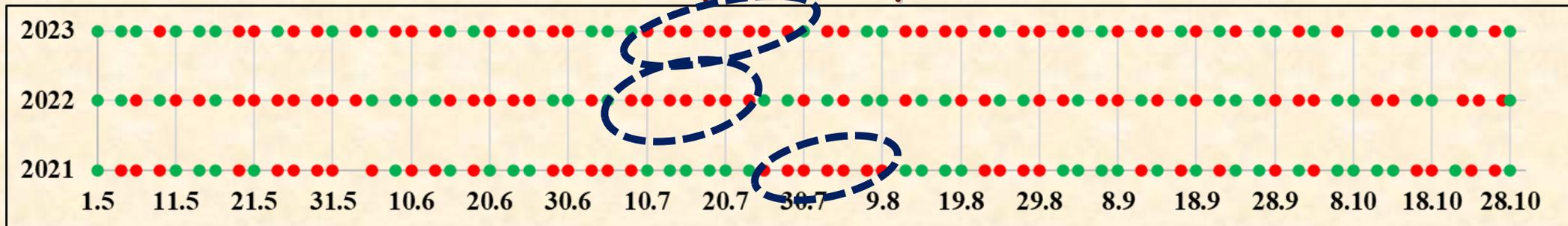
▪ Классификация земель сельскохозяйственного назначения, картографирование, контроль севооборота



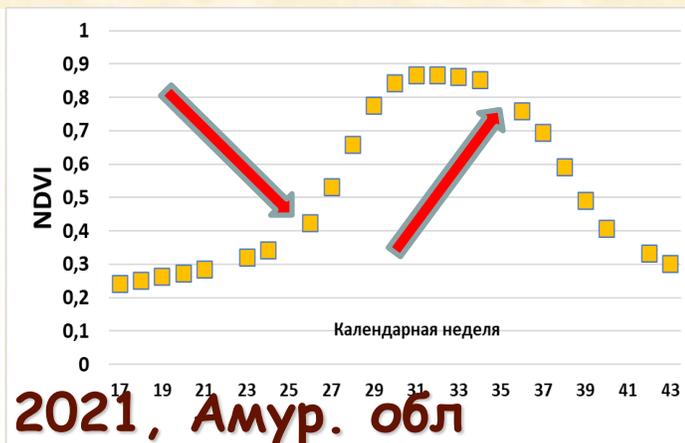
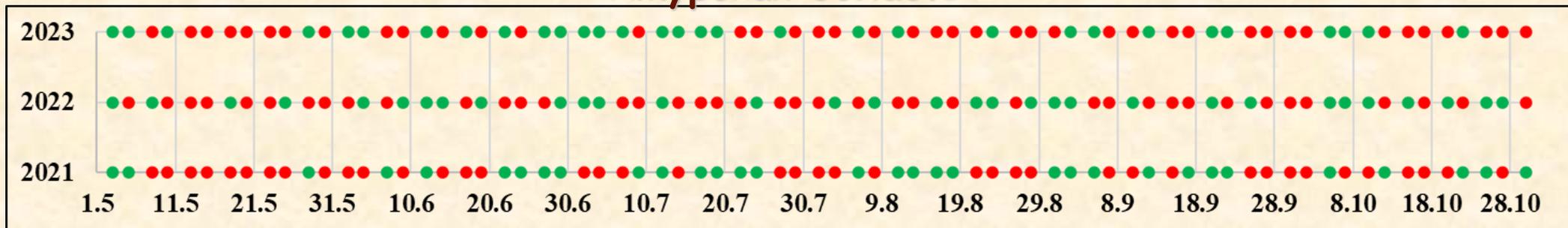
▪ Вариативность развития посевов, отклонения в развитии (оперативный мониторинг), оценка засоренности полей, моделирование и прогнозирование урожайности по ходу вегетационного сезона (раннее прогнозирование)

Временные ряды сезонного ход NDVI по данным Sentinel-2 (соя)

Хабаровский край



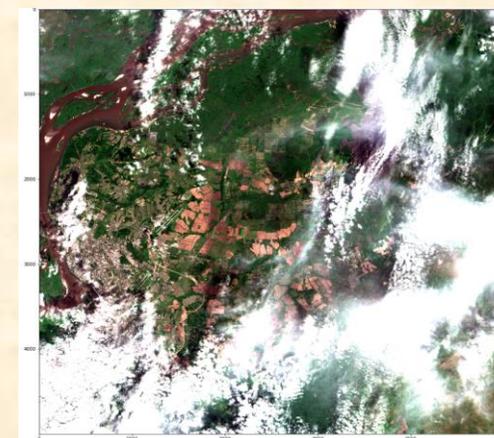
Амурская область



2021, Амур. обл

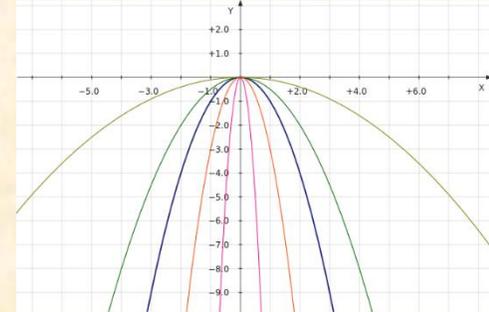


2021, Хаб. край



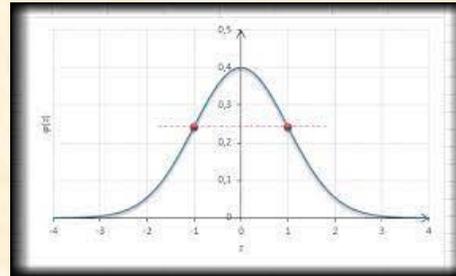
Моделирование сезонного хода NDVI, DpRVI: аппроксимирующие функции

Полиномиальные функции (2-й и 3-й степени)



Функция Гаусса

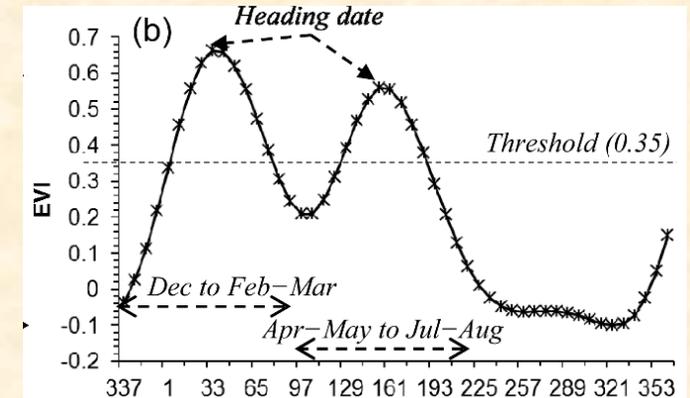
$$F(i) = NDVI_{max} e^{-\frac{(i-b)^2}{2c^2}}$$



i – номер календарной недели, положение центра пика, c – продолжительность активной вегетации (ширина пика)

Двойная логистическая функция

$$F(i) = c_1 + c_2 * \left(\frac{1}{1 + \exp\left(\frac{a_1 - i}{a_2}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{a_3 - i}{a_4}\right)} \right)$$



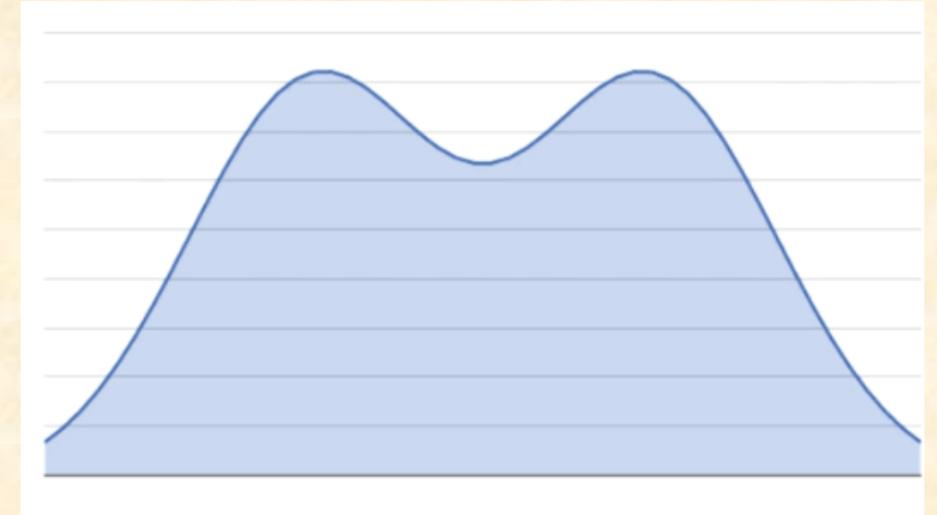
c_1 – минимум NDVI, c_2 – диапазон изменения NDVI, a_1 – точка перегиба, где кривая растет, a_2 – скорость этого роста, a_3 – точка перегиба, где кривая уменьшается, a_4 – скорость снижения.

Моделирование сезонного хода NDVI, EVI и DpRVI: аппроксимирующие функции

DG (двойная гауссиана)

$$DG = a_1 e^{-\left(\frac{i-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{i-b_2}{c_2}\right)^2},$$

где a_1 , b_1 , c_1 , a_2 , b_2 , c_2 – параметры.



DS (линейная комбинация синусов)

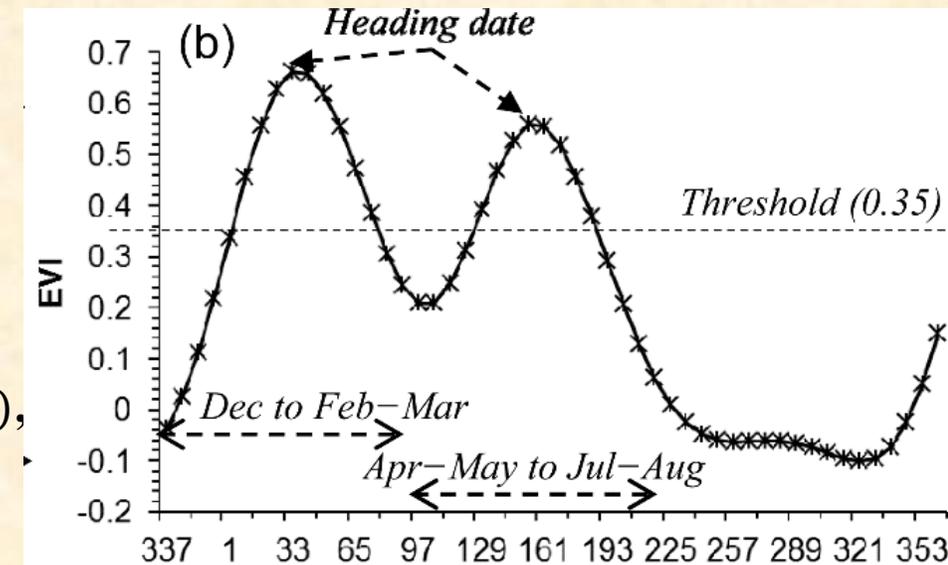
$$DS = a_1 \sin(b_1 i + c_1) + a_2 \sin(b_2 i + c_2),$$

где a_1 , b_1 , c_1 , a_2 , b_2 , c_2 – параметры.

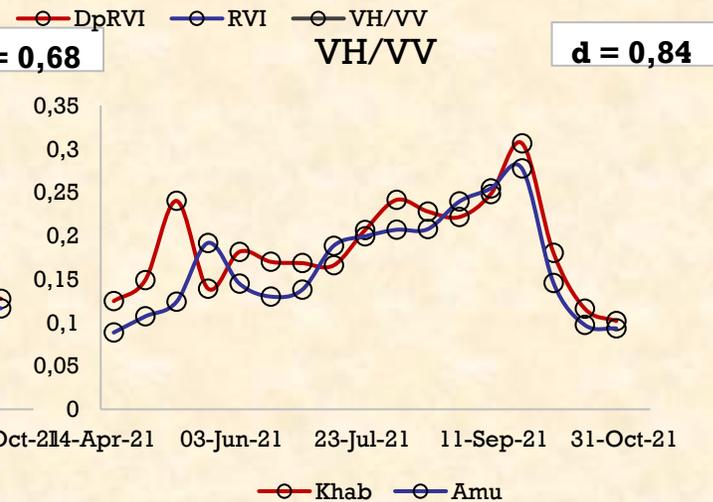
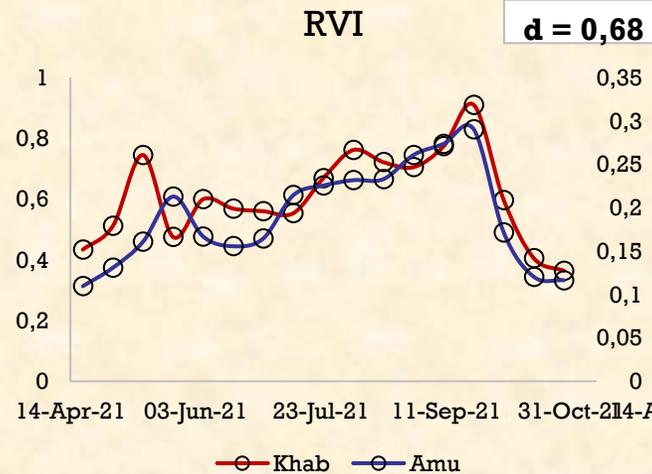
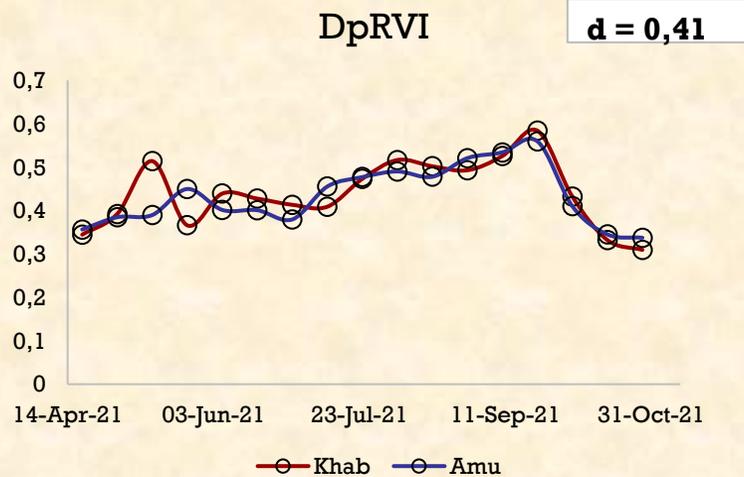
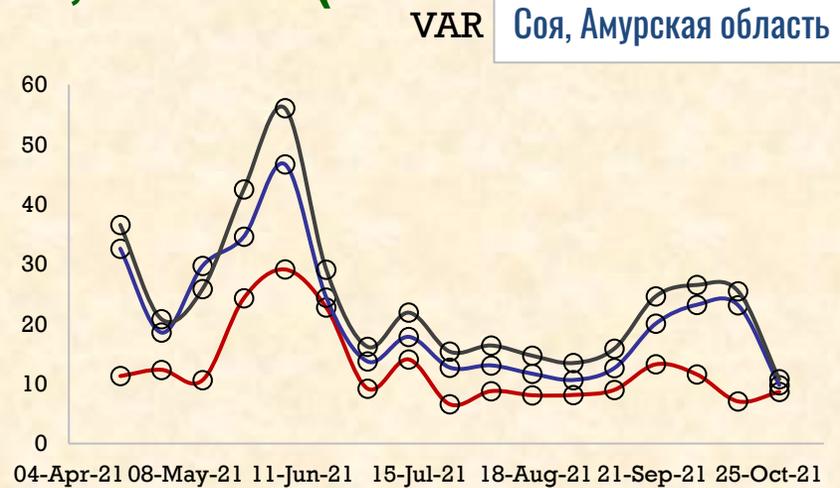
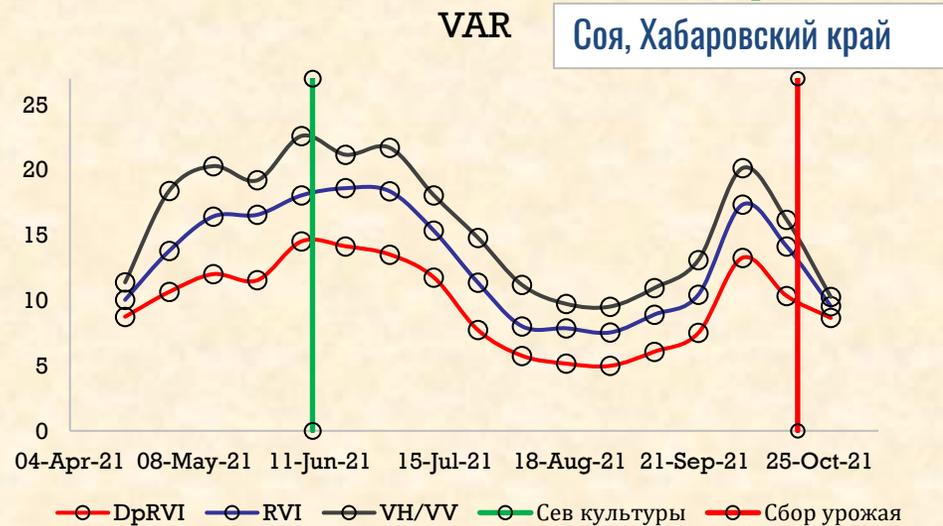
DF (ряд Фурье)

$$DF = a_0 + a_1 \cos(iw) + b_1 \sin(iw) + a_2 \cos(2iw) + b_2 \sin(2iw),$$

где a_0 , a_1 , w , b_1 , a_2 , b_2 – параметры.

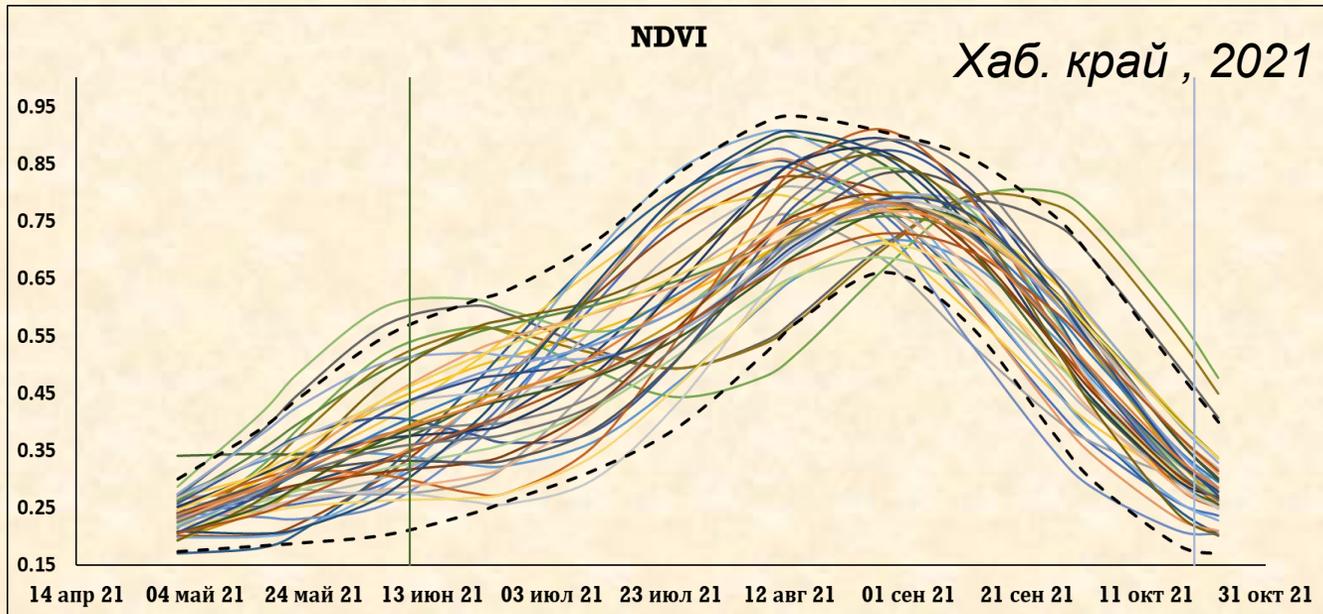


Сравнительный анализ устойчивости радиолокационных индексов DpRVI, RVI, VH/VV (2021 г.)



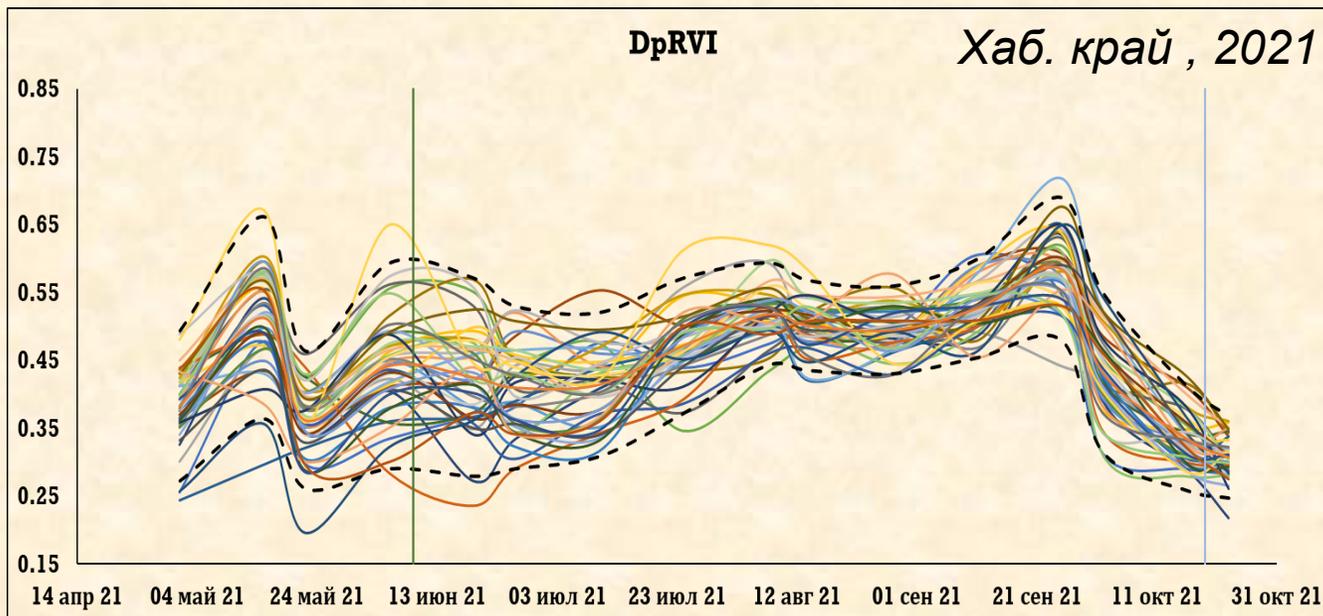
- **Вариабельность DpRVI ниже, в сравнении с RVI (на 5-7% для Хаб. Края, 7-9% для Амурской области), в сравнении с VH/VV (10-15% и 12-20%)**
- **Схожесть графиков сезонного хода в двух регионах выше для DpRVI (d=0.41)**

Сезонный ход NDVI и DpRVI для отдельных полей с соей



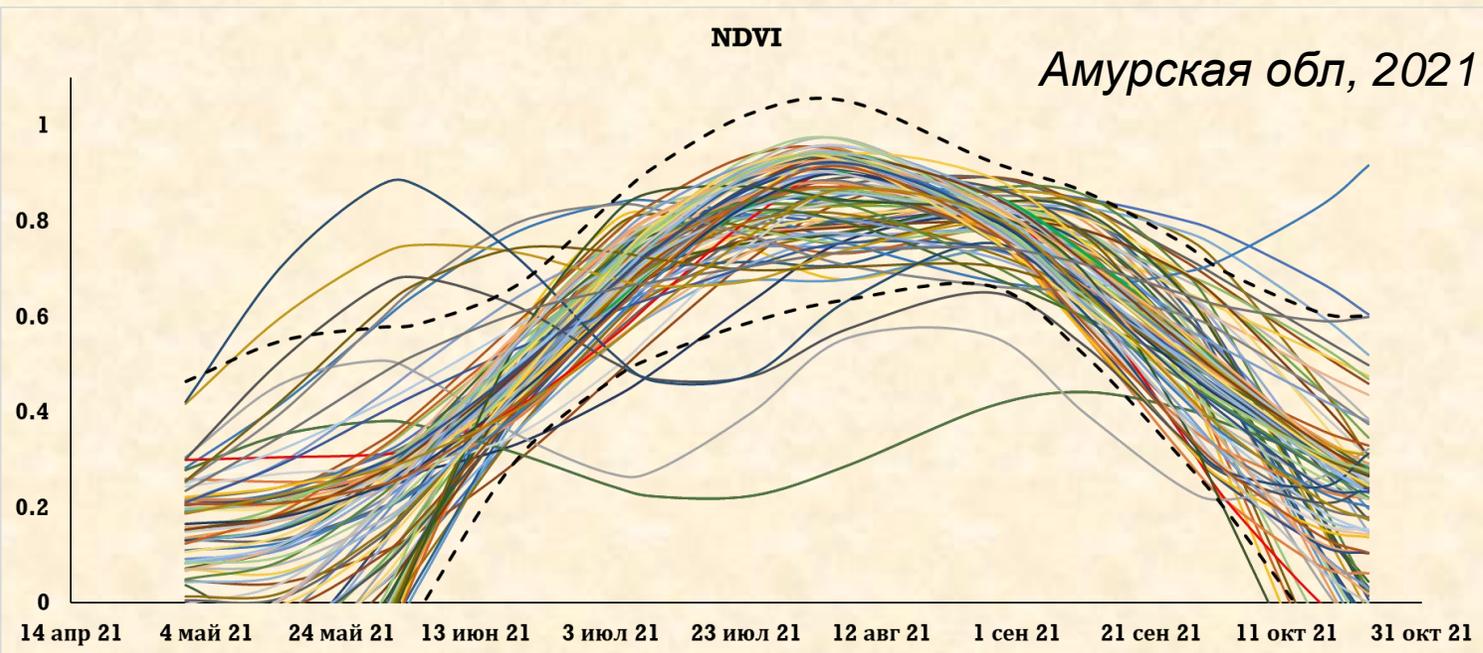
Неоднородность развития посевов обусловлена разными стрессовыми факторами – засуха, избыток влаги; особенностями ведения сельского хозяйства – срок посева, удобрения, сорт, гербицидная обработка etc

Для сои в ДВ регионах характерно использование в основном одного сорта



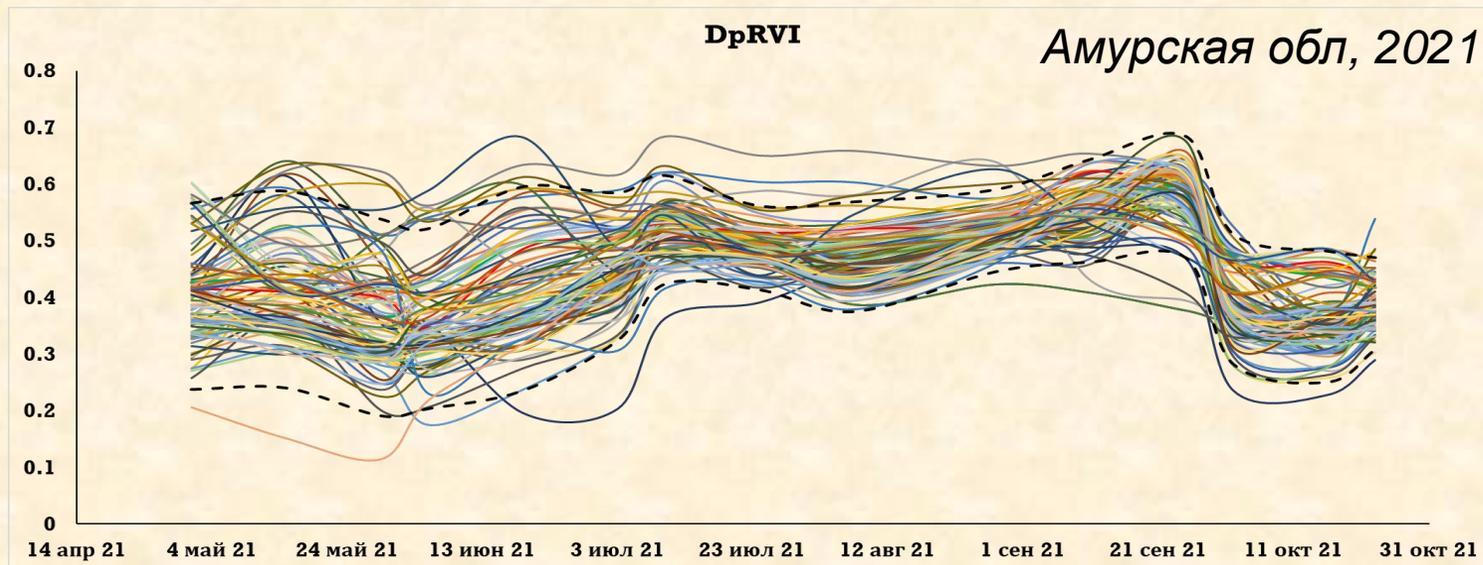
Достаточно высокая вариативность временных рядов (ширина доверительных интервалов для всего вегетационного периода)

Сезонный ход NDVI и DpRVI для отдельных полей с соей



Значения сезонного хода NDVI некоторых временных рядов выходят за границы доверительных интервалов

Ширина доверительных интервалов на начале и конце вегетационного периода больше, чем в середине периода

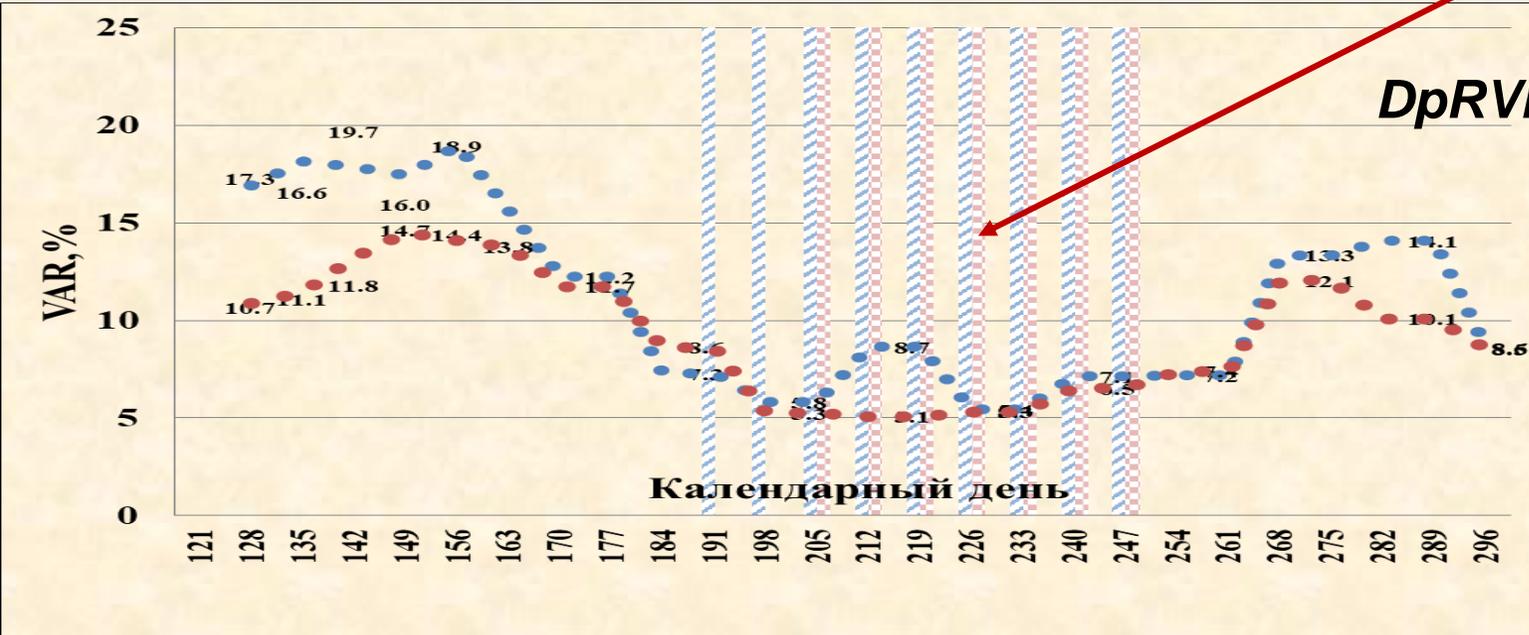


Различия в форме и численных значениях сезонного хода VI послужили предпосылкой для проведения кластерного анализа

Значения коэффициентов вариации временных рядов NDVI и DpRVI (соя, 2021)



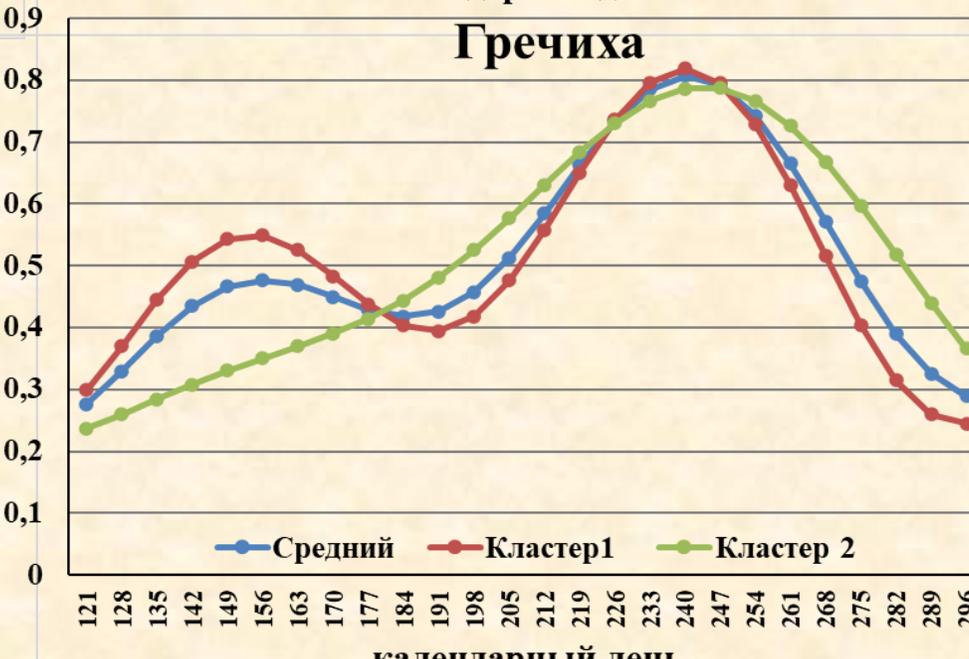
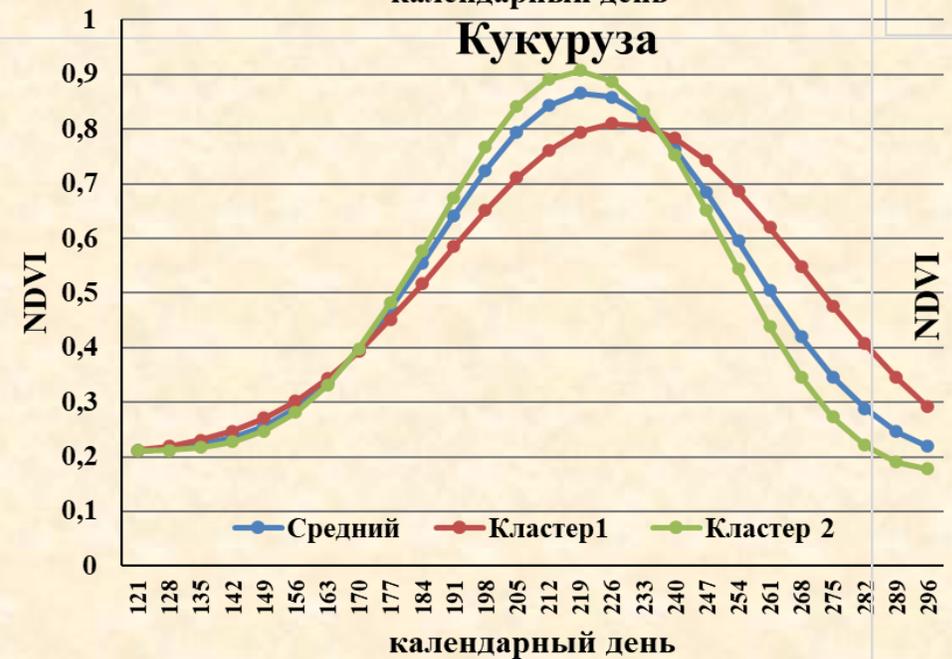
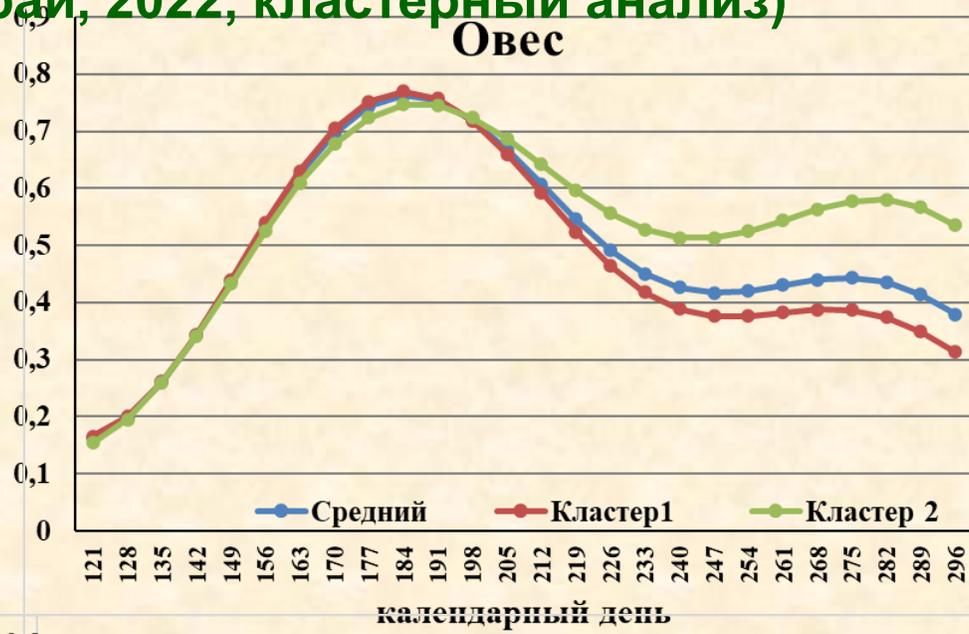
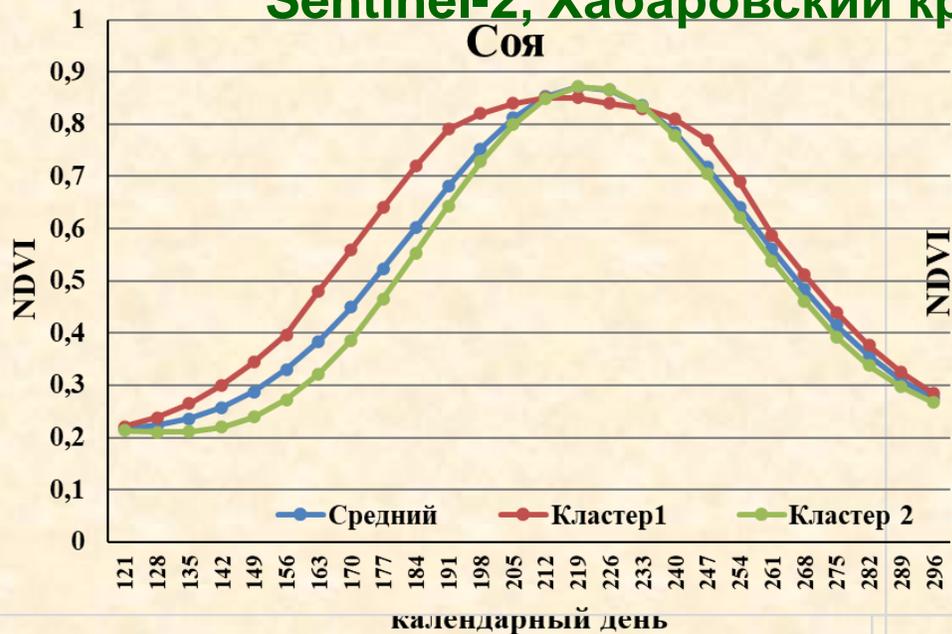
Доверительный интервал дня максимума,
 $D_{max} \pm \Delta D_{max}$



Вариабельность значений VI для разных полей в рамках одного региона значительно различается в зависимости от даты

В период максимального набора биомассы VAR имеет минимальные значения

Неоднородности развития посевов на уровне района (NDVI, Sentinel-2, Хабаровский край, 2022, кластерный анализ)



• Соя: кластер 1 (засоренные поля)

кластер 2 (слабозасоренные)

• Овес: кластер 1 (с подсевом)

кластер 2 (без подсева)

• Кукуруза: кластер 1 (на зерно)

кластер 2 (на силос)

• Гречиха: кластер 1 (поздняя распашка)

кластер 2 (ранняя распашка)

Неоднородности развития посевов на уровне района (Хабаровский край, Хабаровский муниципальный р-н, 2022, соя)

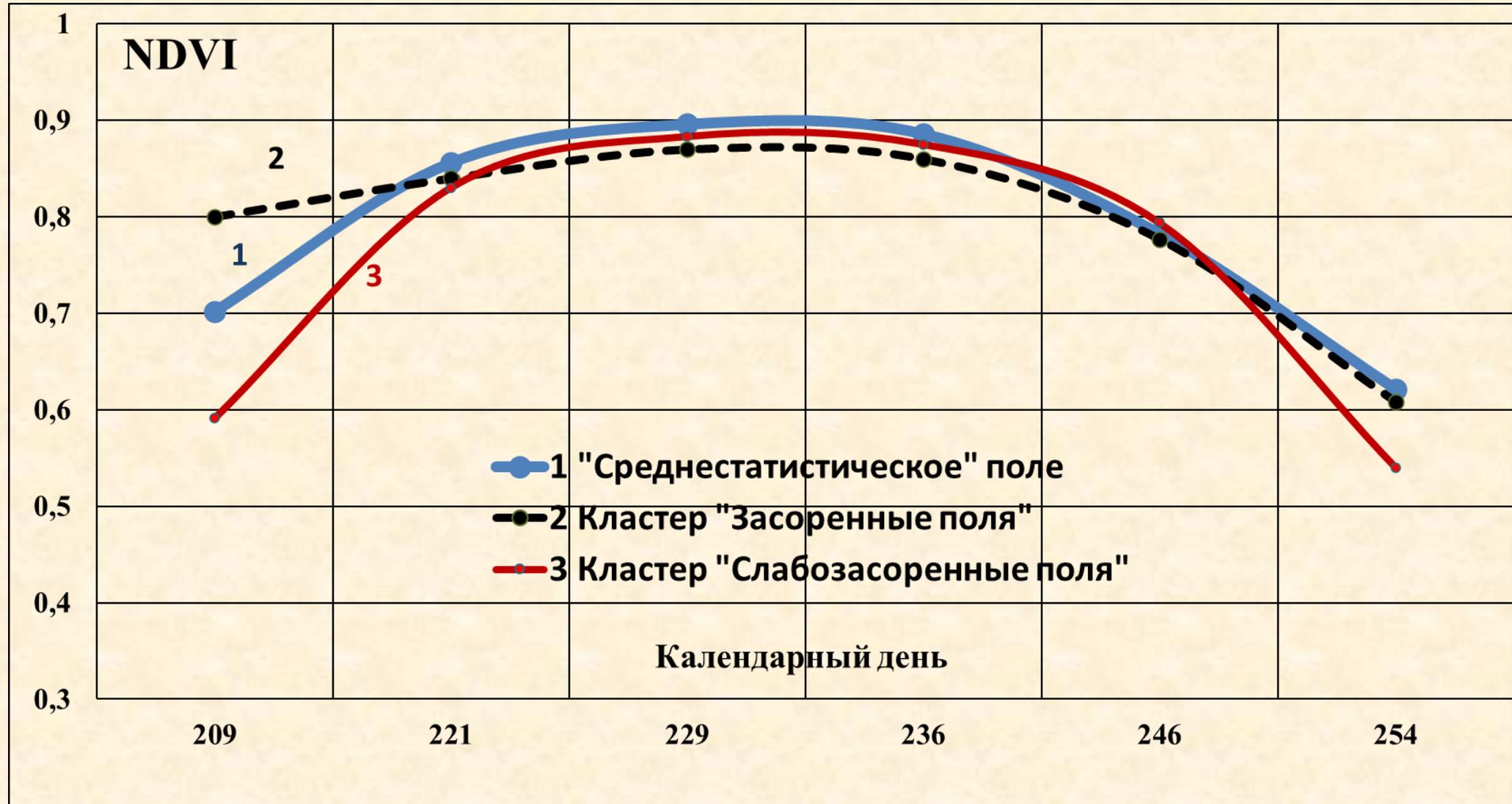
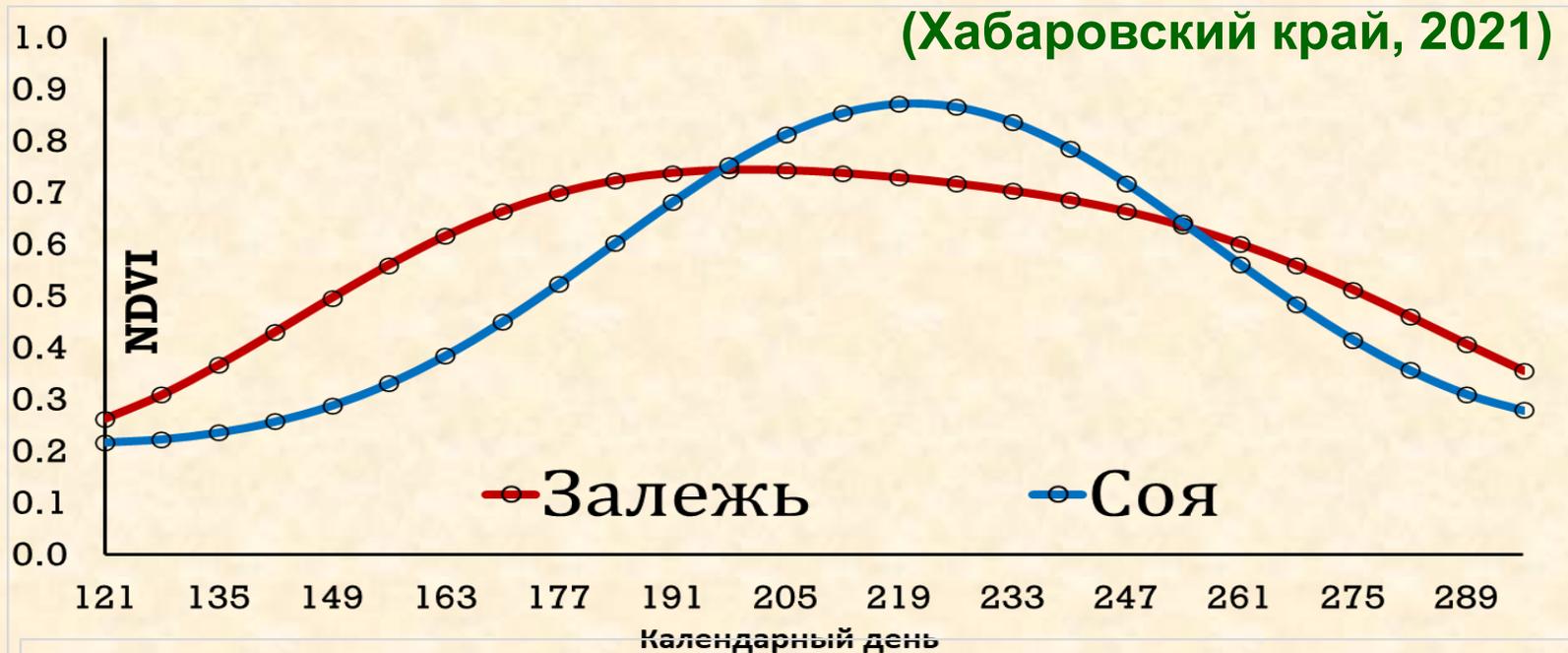


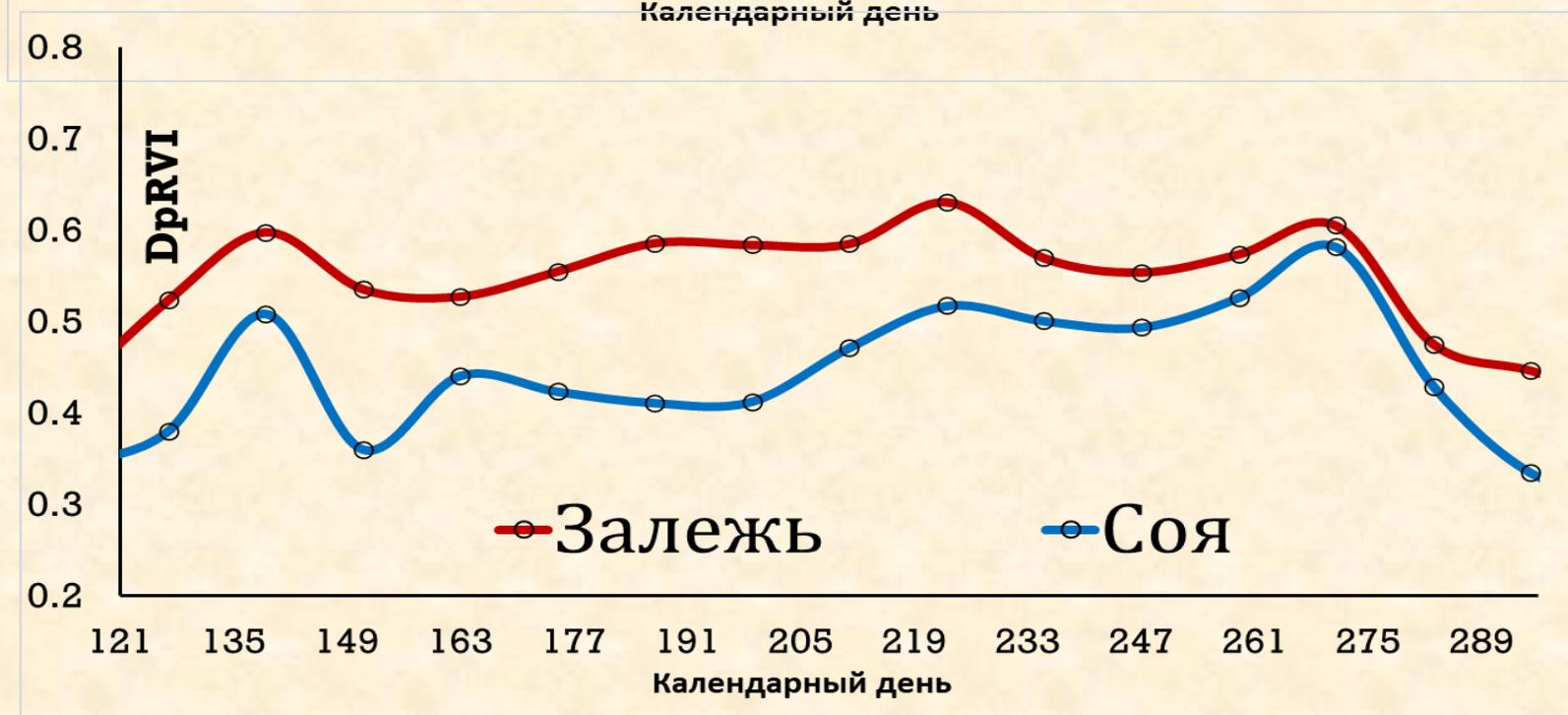
Рис. Сезонный ход NDVI на полях с соей в Хабаровском районе (2022, Sentinel-2): 1-среднестатистическое поле, 2-средние значения в кластере «засоренные поля», 3-средние значения в кластере «слабозасоренные поля».

Сезонный ход средних значений VI сои и залежных земель

(Хабаровский край, 2021)

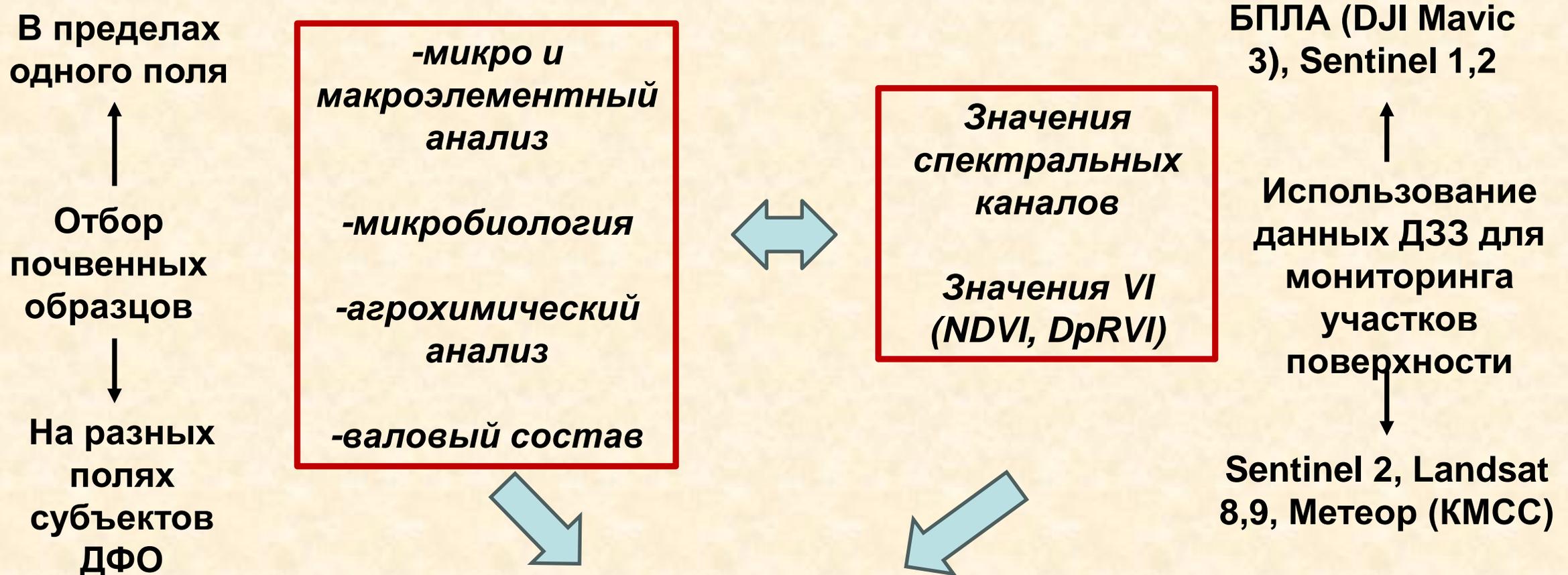


- Характерно отсутствие выраженного максимума для залежных земель (индексы NDVI и DpRVI)



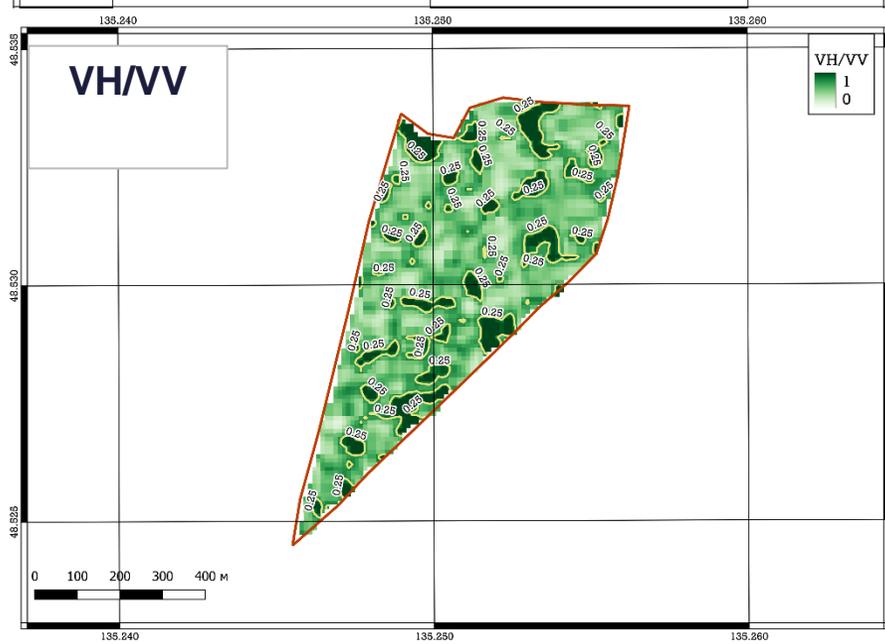
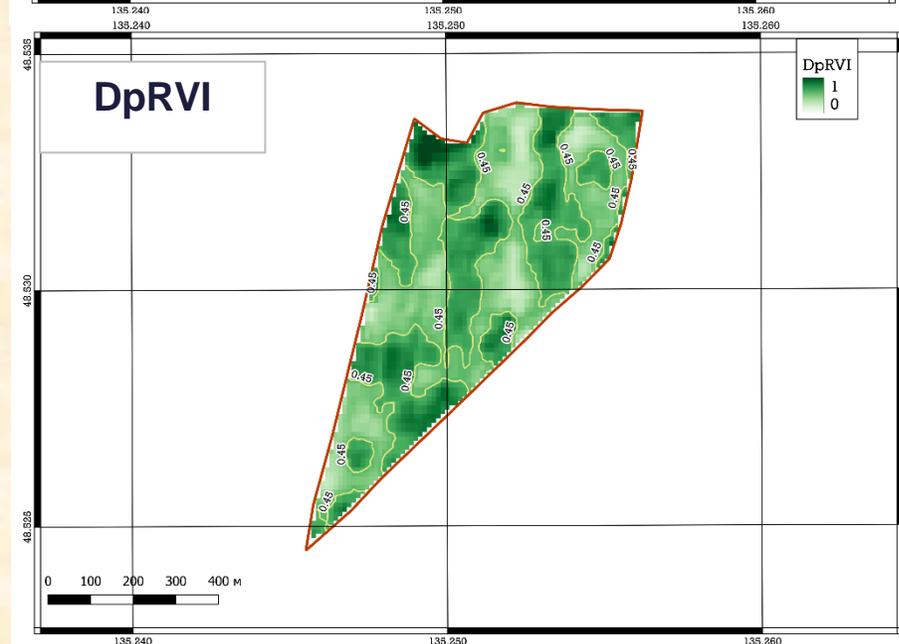
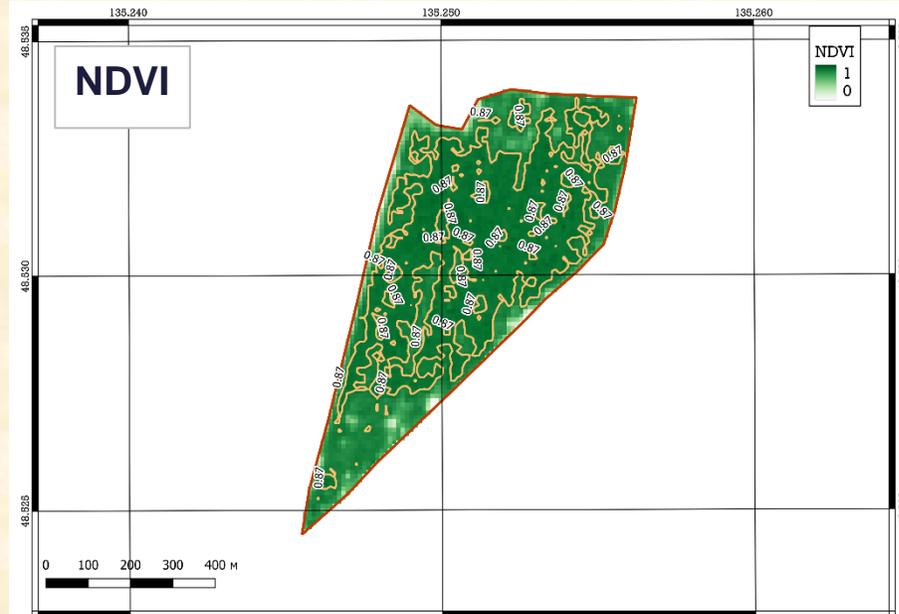
- Возможность распознавания залежных земель с использованием радиолокационных индексов (DpRVI)

Мониторинг и математическое моделирование агроэкосистем. Построение эффективных моделей управления почвенными ресурсами



- *Оценка перспективности выращивания с\х культур на залежных землях*
- *Разработка эффективных моделей управления с учетом внутрислоевых неоднородностей*
- *Оценка границ применимости разработанных моделей*

Значения NDVI, RVI, VH/VV, DpRVI для поля с соей (Sentinel 1, 2) Хабаровский край, август 2021)



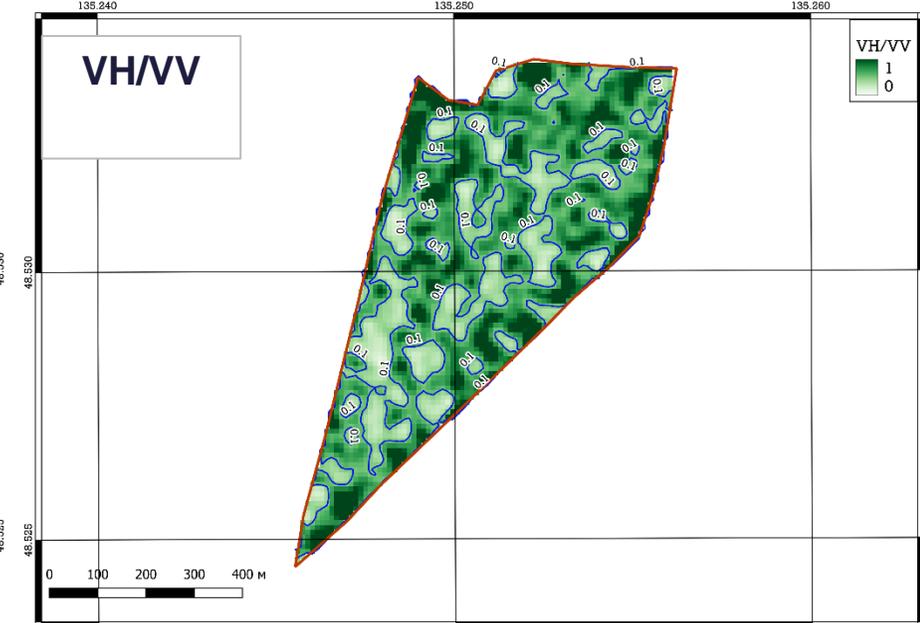
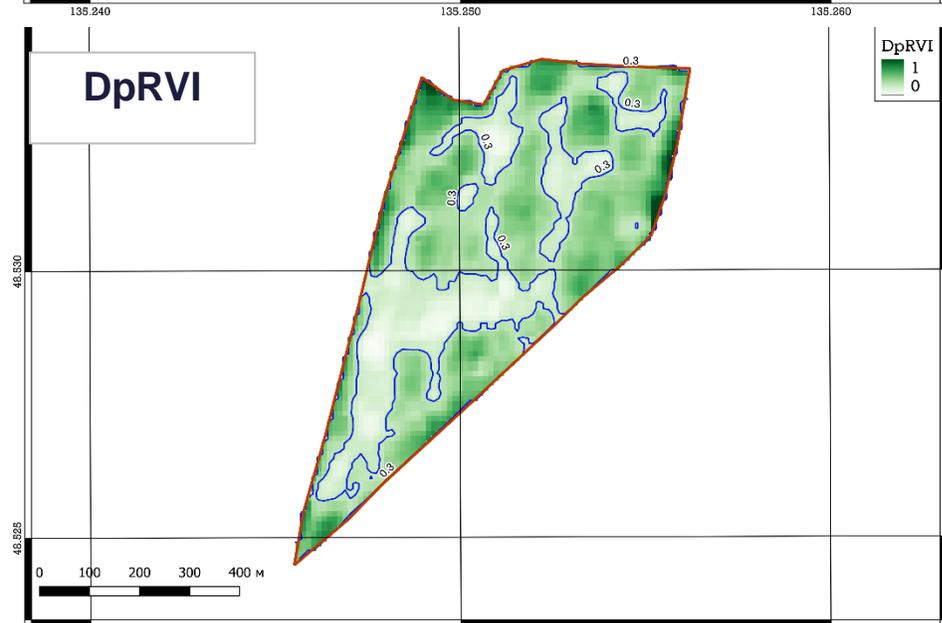
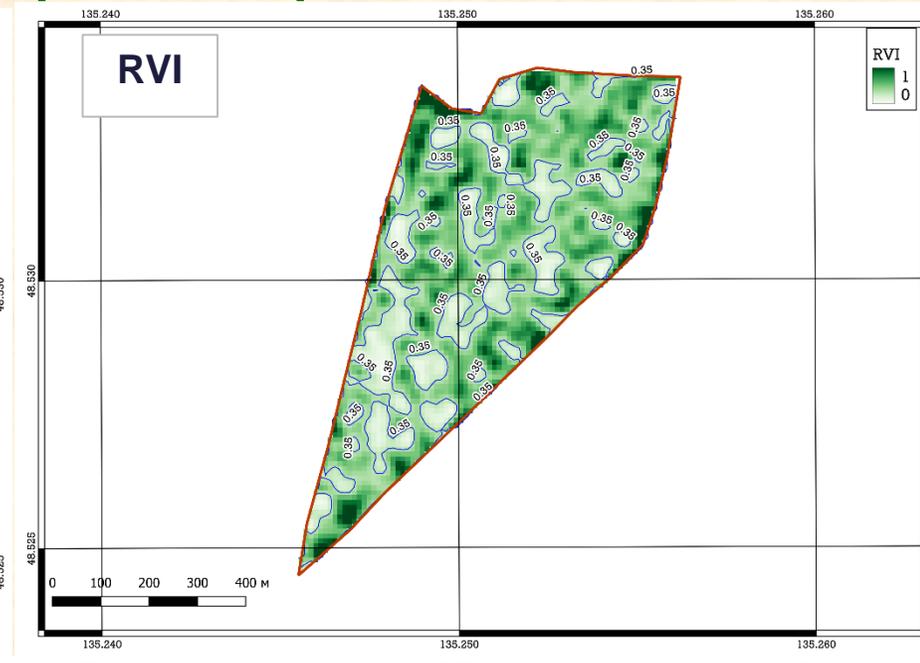
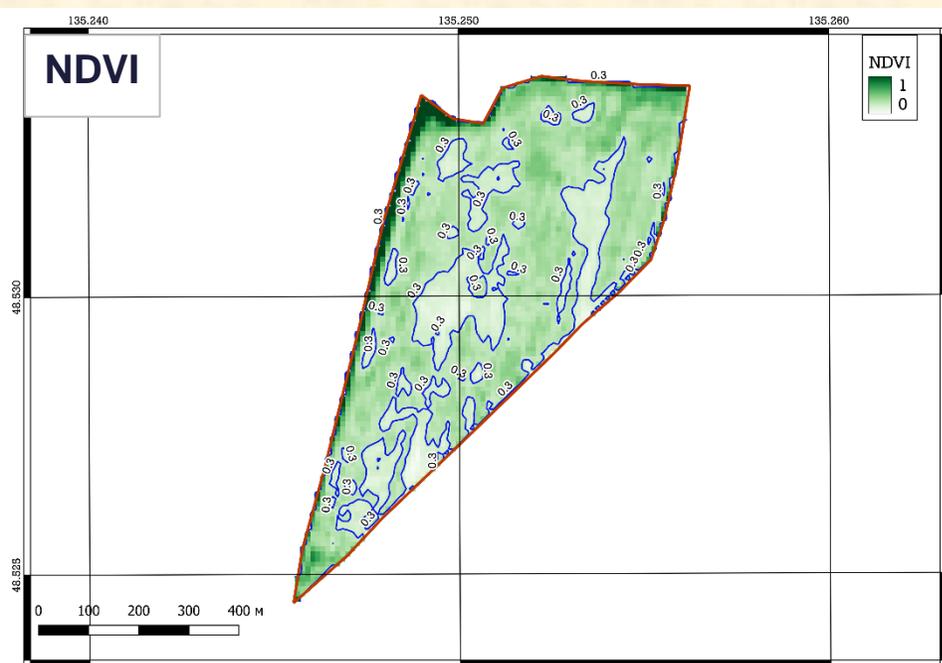
! Неоднородные зоны могут быть выделены с помощью радиолокации

! При смыкании посевов применение DpRVI более перспективно, чем NDVI

! Сравнительный анализ DpRVI, RVI и VH/VV, подтвердил преимущество DpRVI при построении неоднородных участков

Значения NDVI, RVI, VH/VV, DpRVI для поля с соей (Sentinel 1, 2)

Хабаровский край, июль 2021



Неоднородные участки с использованием DpRVI и NDVI до смыкания посевов: выявлена слабая положительная корреляция

Применение DpRVI до смыкания посевов более перспективно

Применение RVI и VH/VV для выявления неоднородностей не продемонстрировало достаточной устойчивости