Методы обнаружения сорняков в посевах сои по данным спутниковой и БПЛА съёмки



Бордаков А.С., Степанов А.С., Холодков А.А.
ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 23-76-00007, https://rscf.ru/project/23-76-00007/

Актуальность

Низкая рентабельность производства в АПК во многом обусловлена высокой засорённостью полей и неэффективной системой защиты сельскохозяйственных культур от сорных растений.

Проблема засорённости полей напрямую влияет на продовольственную безопасность России, ежегодно снижая урожайность ключевых культур, таких как соя и пшеница, на 15–30%.

В настоящее время для повышения эффективности и устойчивости агропроизводства активно внедряются IT-технологии: искусственный интеллект (AI), интернет вещей (IoT) и дистанционное зондирование

Засоренное поле (соя, август 2024)



Засоренное поле (соя, август 2025)



Способы определения сорняков в сельскохозяйственных посевов

	Способ	Инструмент	Для чего
Визуальные	Балльная оценка (Мальцев)	Глазомер, шкала 1–4	Быстрое решение об обработке
	Маршрутное обследование	Осмотр	Выявление карантинных видов
Количественные	Рамковый метод	Рамка 0,25–1 м²	Наука, прогноз засоренности
	Постоянные площадки	Фиксированные площадки 0,1 м²	Наблюдение во времени
Дистанционные	БПЛА + нейросети	RGB/NIR камеры, YOLO	Карты видов, точное земледелие
	Спутниковый мониторинг	Мультиспектр (Sentinel-2)	Большие поля, зоны засорения

Способы определения сорняков в сельскохозяйственных посевов

Съемка проводится на высоте до 20м, чаще всего RGB изображения и использование нейросетей



Пример ПО для обнаружения сорняков: Skymaps

БПЛА

\+ точная идентификации сорняков (виды сорной растительности, площадь сорной растительности, количество)

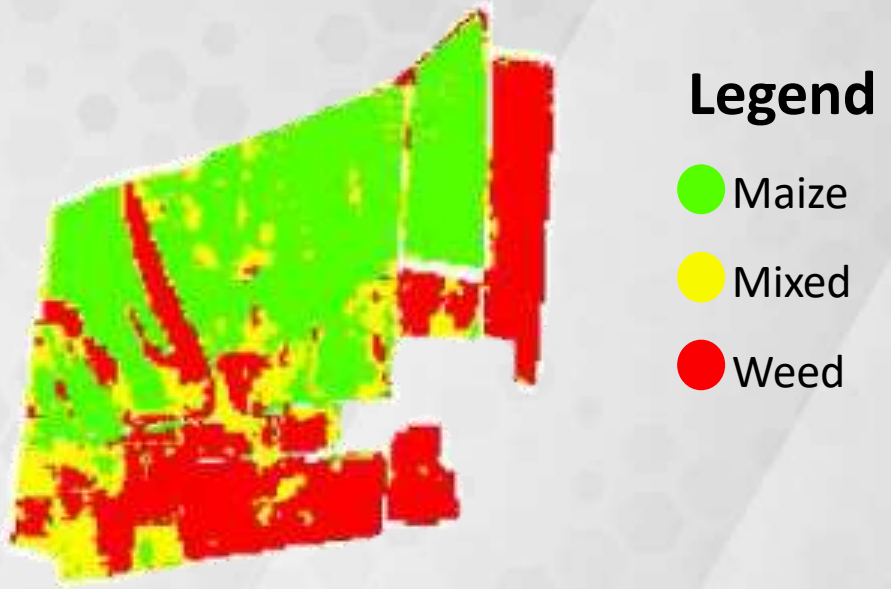
– Большие трудно-затратно, невозможно работать после смыкания посевов, малый радиус и время полёта — нужно много вылетов, дорого: сенсоры, ПО, нужен доступ к базам данных с сорной растительности

Способы определения сорняков в сельскохозяйственных посевов

Спутник

\+ Масштабный охват, регулярная автоматическая съёмка, выявление зон повышенной засорённости культур на больших площадях, большое число спектральных каналов.

– Низкое пространственное разрешение — не позволяет идентифицировать виды, отдельные растения и мелкие пятна; зависимость от облачности и атмосферных помех; ограниченная точность для ранних стадий сорняков, исследований очень мало.



Mkhize, Y., Madonsela, S., Cho, M., Nondlazi, B., Main, R., & Ramoelo, A. (2024). Mapping weed infestation in maize fields using Sentinel-2 data. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 134, 103571. https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103571

Засоренность посевов сои (Дальний Восток)



- ***Нарушение технологического процесса***

– несоблюдение севооборота, несвоевременное проведение защитных мероприятий

•Важность постоянного мониторинга засоренности посевов сои обусловлена особенностями вегетации: соя неконкурентна с сорной растительностью на протяжении всей вегетации, и, в частности на ранних этапах именно из-за медленного развития и низкой облиственности

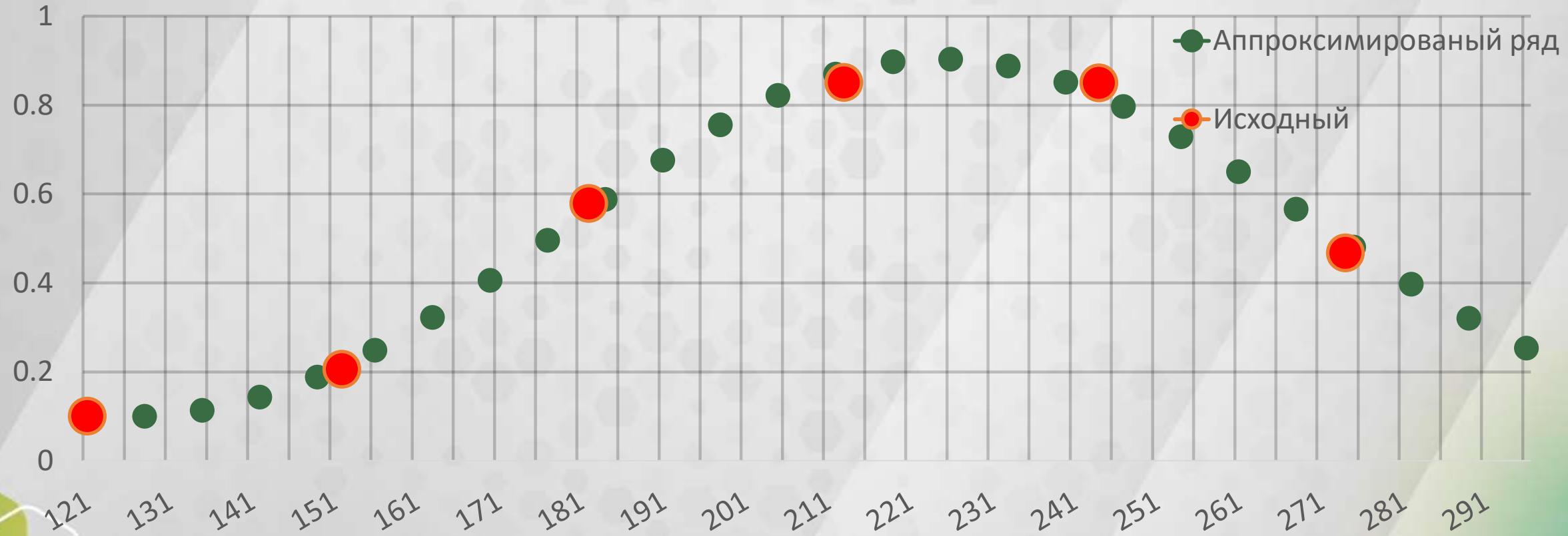
Показатели засоренности

	Шт\м^2	г\м^2
ДФО	***300-1000***	***1500-3200***
Орловская обл.	***70-140***	***500-1100***
Алтайский, Краснодарский край	***60-160***	***400-900***

Временные ряды данных ДЗЗ

Ключевые задачи мониторинга:

1. **Оценка всхожести**
2. **Выявление проблемных зон (сорные растения, вода и т.д.)**
3. **Прогнозирование урожайности**



Цели и задачи

Цель работы: оценить засоренность посевов сои по спутниковым и БПЛА данным с использованием временных рядов NDVI.

Задачи:

1)Подготовка спутниковых данных и данных БПЛА. Формирование сезонных временных рядов NDVI сои для Хабаровского края. Апробация методики оценки засоренности сои по ширине пика кривой сезонного хода NDVI.

2) Создание программного комплекса для расчетов и оценки засоренности посевов сои.

3) Оценка засоренности полей Хабаровского края 2022-2025 гг., с использованием данных ДЗЗ.

4) Сравнение данных наземных и дистанционных наблюдений по оценке засоренности.

Использованные в работе данные

- Спутник Sentinel-2A/B (Level 2A) - 432 мультиспектральных снимка пространственного разрешения 10 м.
- Ежемесячно, в конце каждого месяца, в период с мая по октябрь проводилась аэрофотосъемка (высота 350 м) с использованием DJI Mavic3M.
- Данные о севообороте 281 сельскохозяйственных полей в 2022 г., 554 полей в 2023 г., 364 полей в 2024 г., и 297 полей в 2025 г. (Хабаровский край).

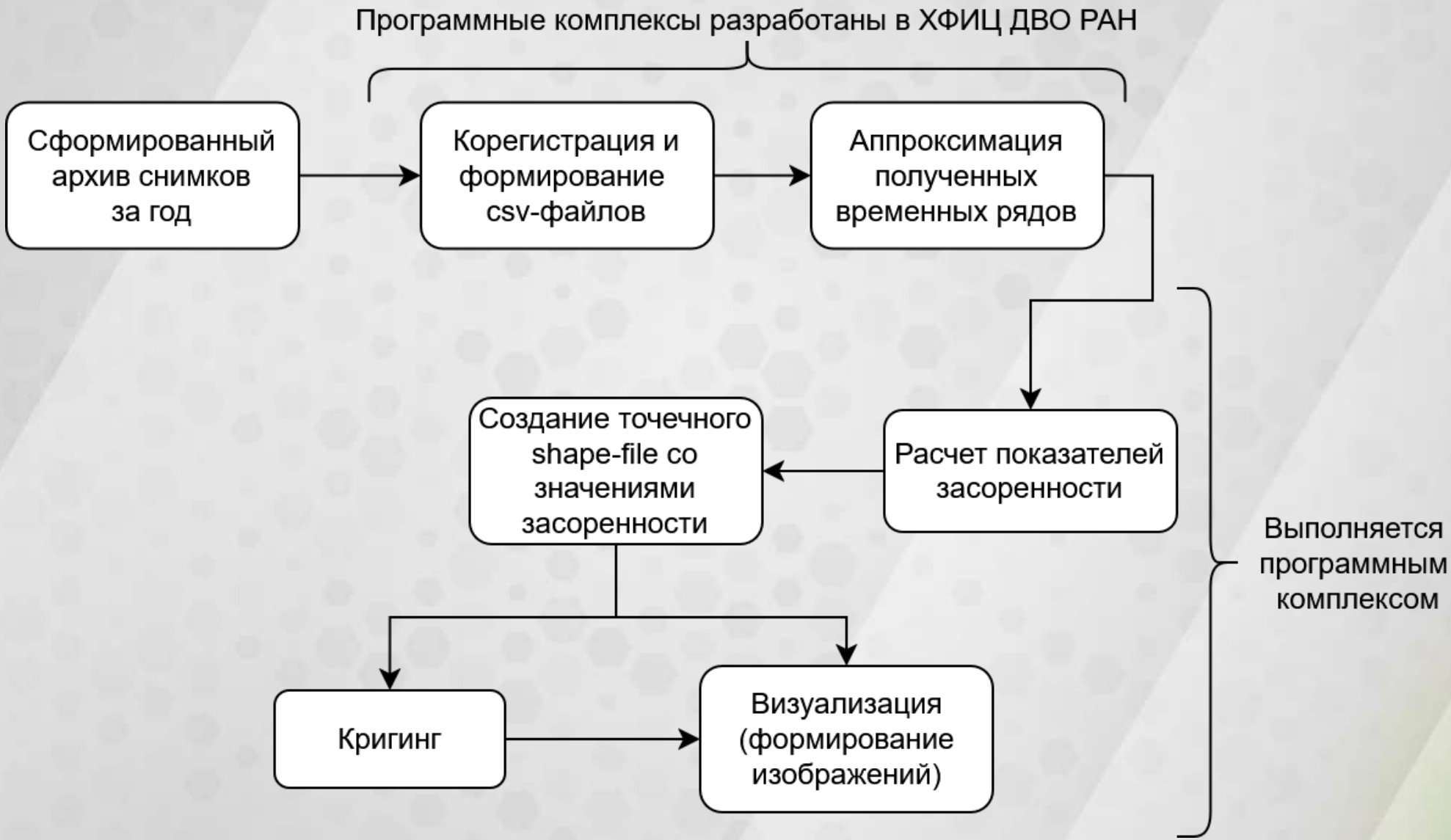


Sentinel 2

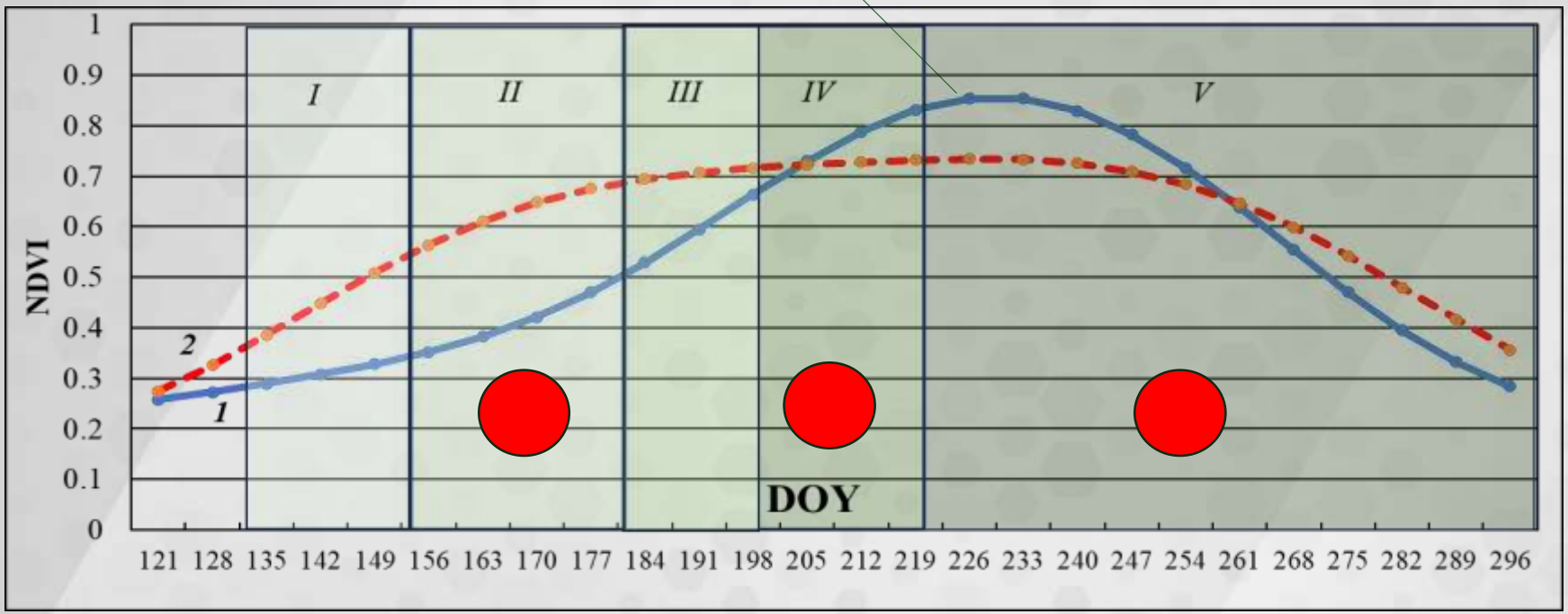


DJI Mavic3M

Схема исследования



Средние значения временных рядов NDVI для посевов сои и залежи и фенологические фазы сои в Хабаровском крае (2022-2025 гг.)



Оценка засоренности посевов

13.06 – 164 день года

25.07 – 207 день года

17.09 – 261 день года

фаза I (посев-всходы) – с 15 мая по 4 июня (135 -155)

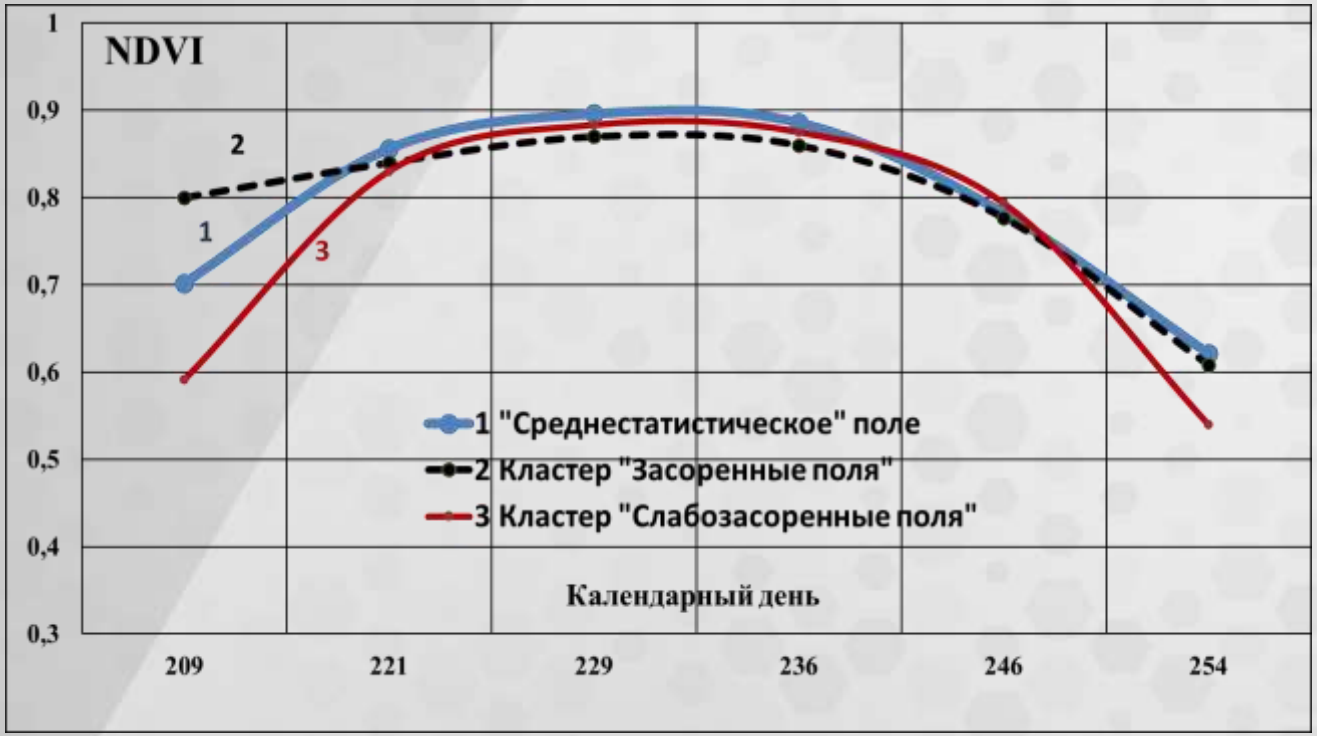
фаза II (всходы-цветение) – с 5 июня по 30 июня (156 – 181)

фаза III (цветение-плодоношение) – с 1 июля (182 день года) по 17 июля (199 день года)

фаза IV (плодообразование-налив) – с 18 июля (200 день года) по 7 августа (219 день года)

фаза V (налив-уборка) – с 8 августа (220 день года) по 25 октября (296 день года

Неоднородности развития посевов в Хабаровском крае 2024 год



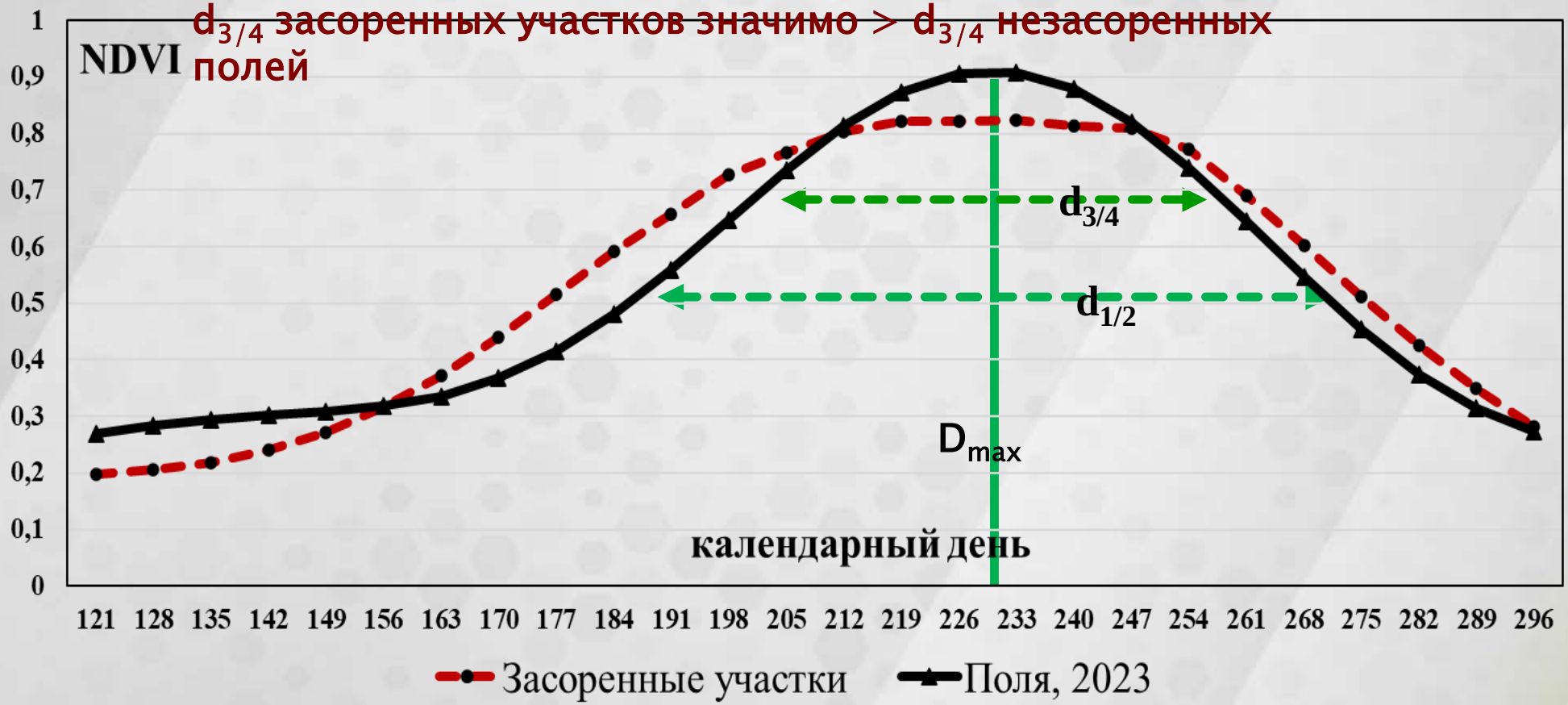
Сезонный ход NDVI на полях с соей в Хабаровском крае (Sentinel-2)



Оценка засоренности посевов сои на отдельных участках с использованием данных Sentinel-2

$d_{1/2}$ засоренных участков значимо > $d_{1/2}$ незасоренных полей

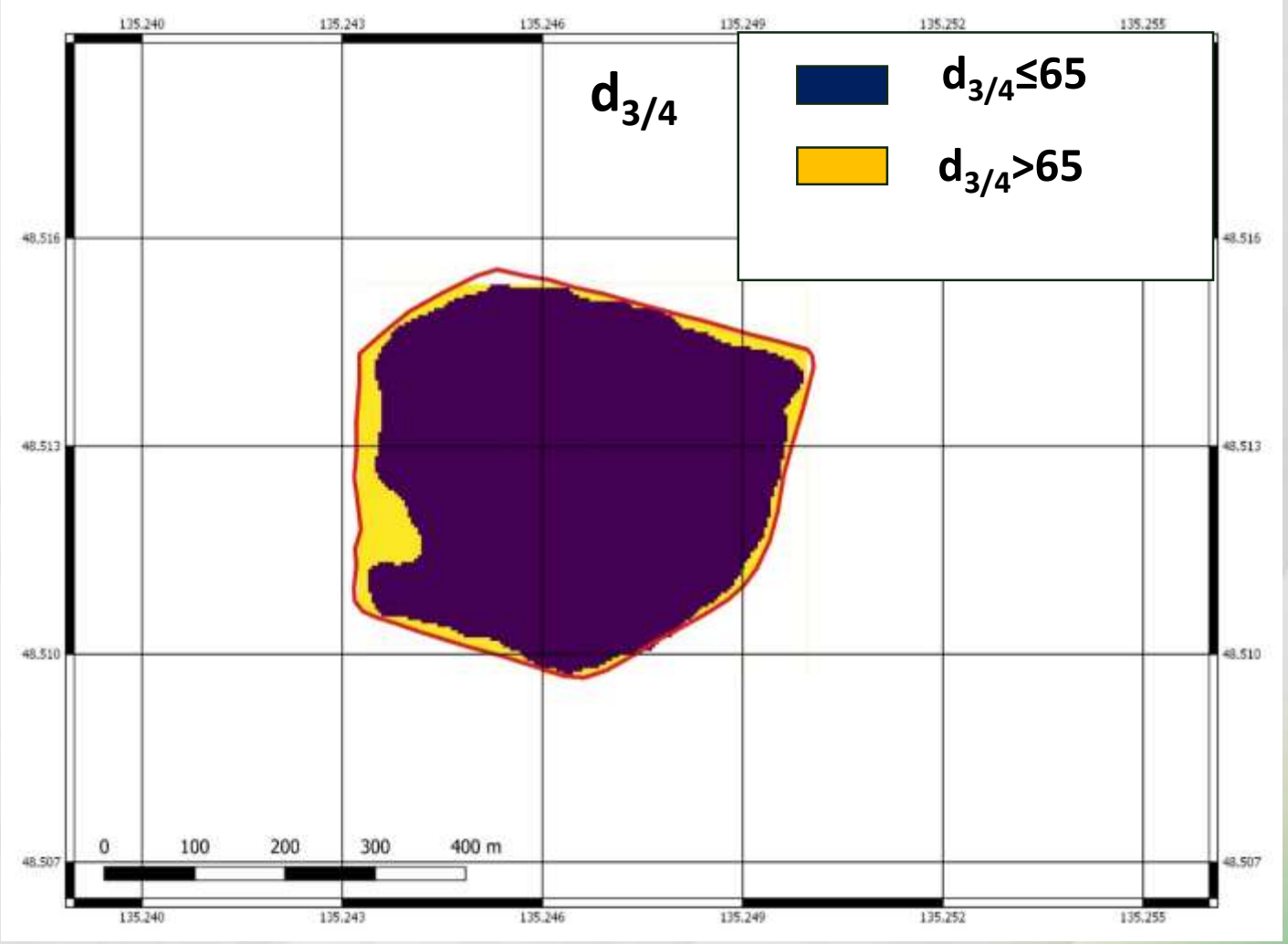
~~$d_{3/4}$ засоренных участков значимо > $d_{3/4}$ незасоренных полей~~



Сезонный ход NDVI на засорённых и не засорённых полях с соей в Хабаровском крае

Внутриполевая оценка засоренности посевов сои Хабаровского края по данным Sentinel-2

Засоренность полей сои, прошедших гербицидную обработку, выше на краях



Засоренность поля с соей (Хабаровский край, 2024 г). Засоренные участки выделены желтым

Возможности программного комплекса

Расчет параметров кривых сезонного хода NDVI

Обработка изображений:

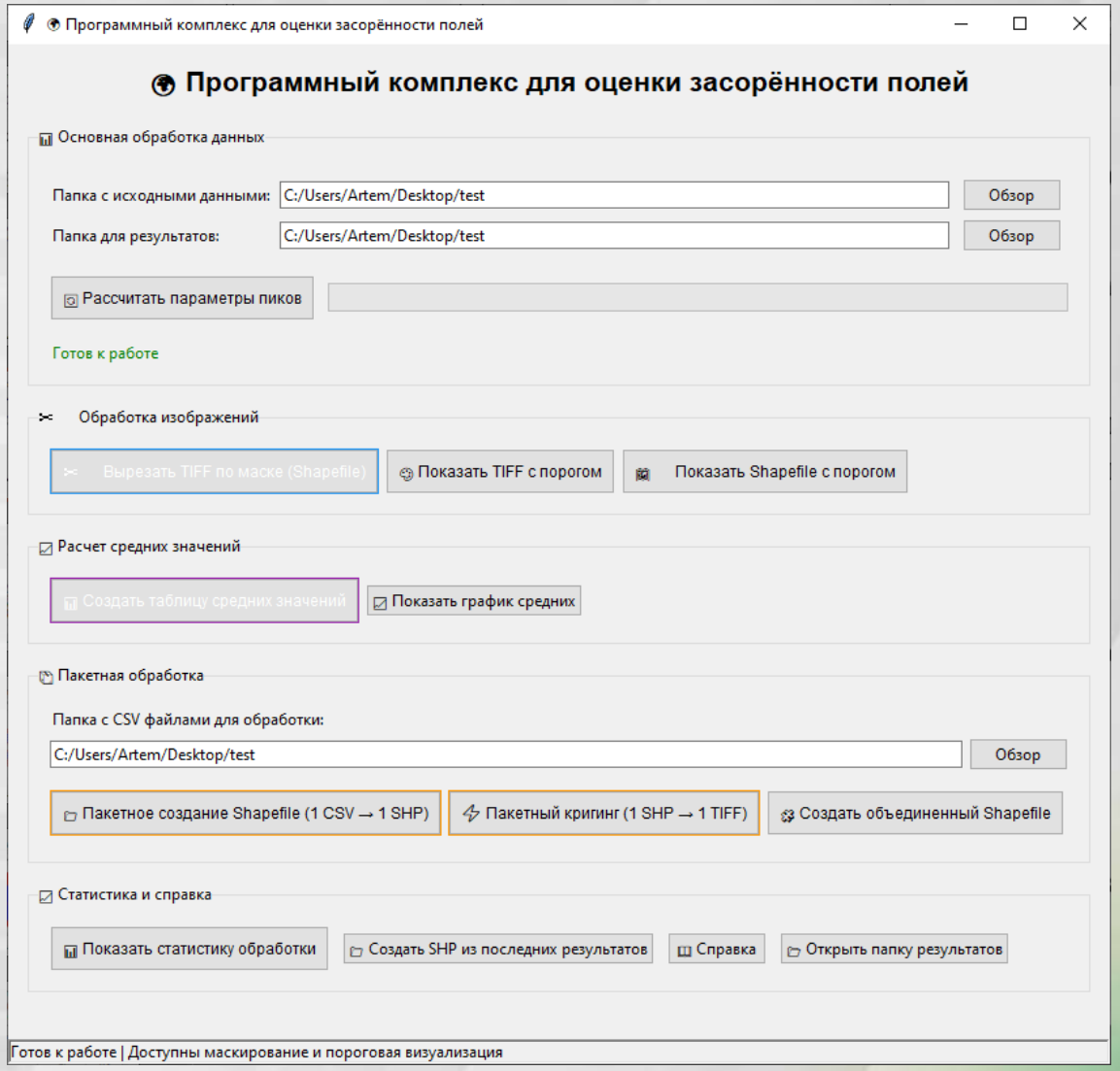
- **Вырезать TIF по shapefile:** Функция для вырезания TIF-файлов по заданной маске.
- **Показать shapefile**
- **Показать TIFF**

Обработка параметров кривых сезонного хода NDVI :

- **Создание Shapefile**
- **Использование кригинга**

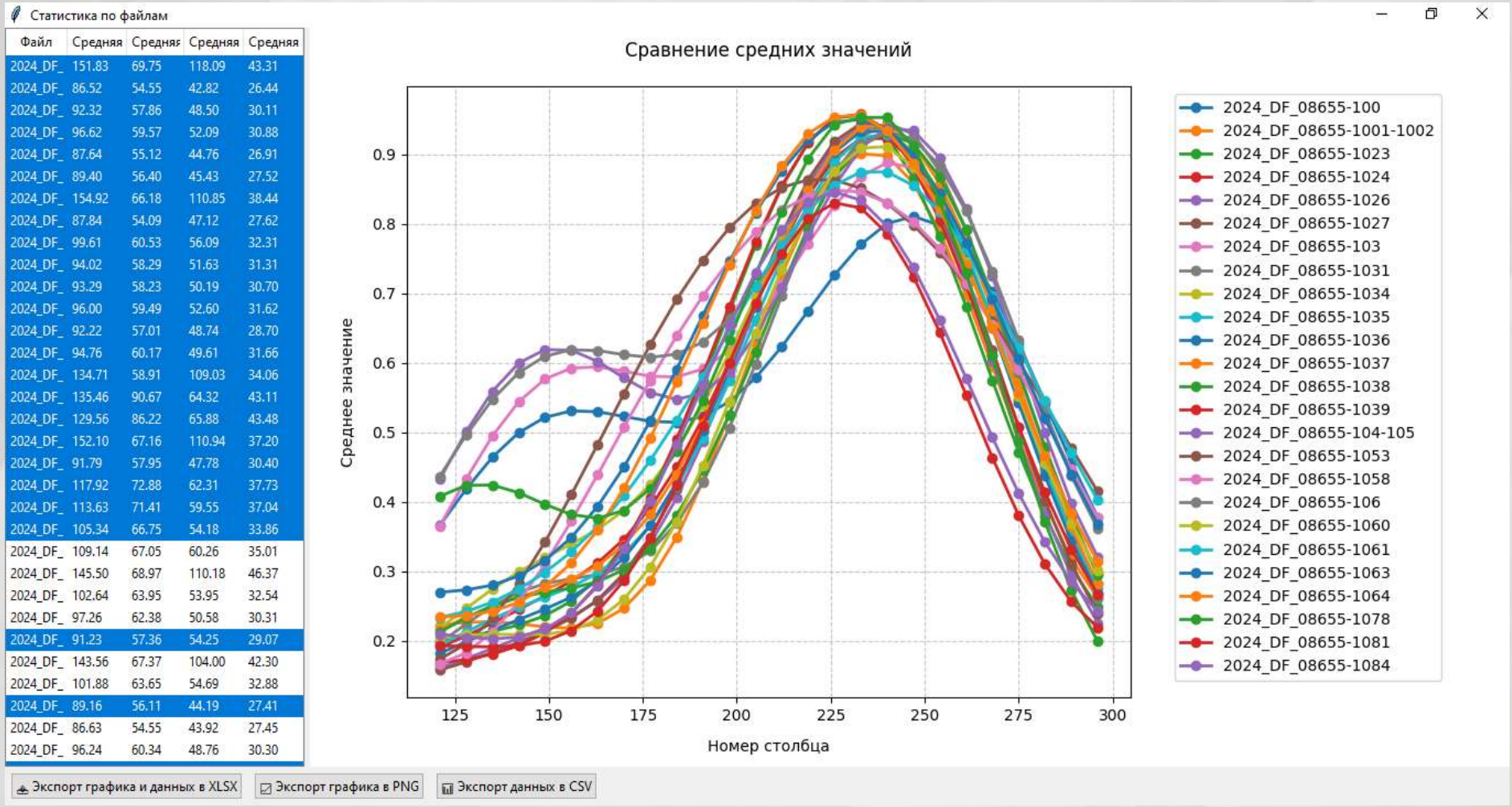
Статистика и справка:

- **Вывод статистических параметров по обработанных данным.**



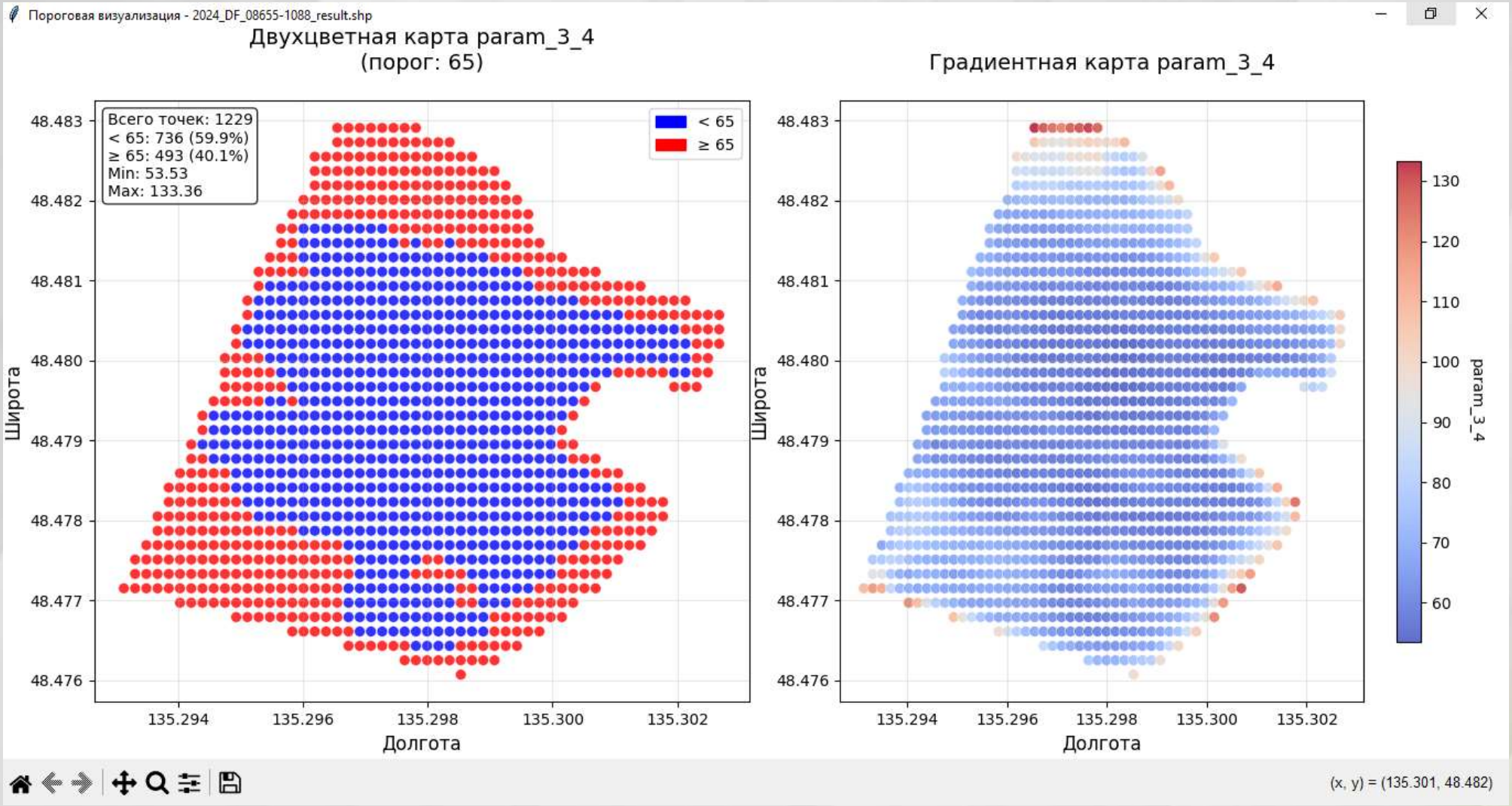
Стартовое окно программного комплекса

Графики



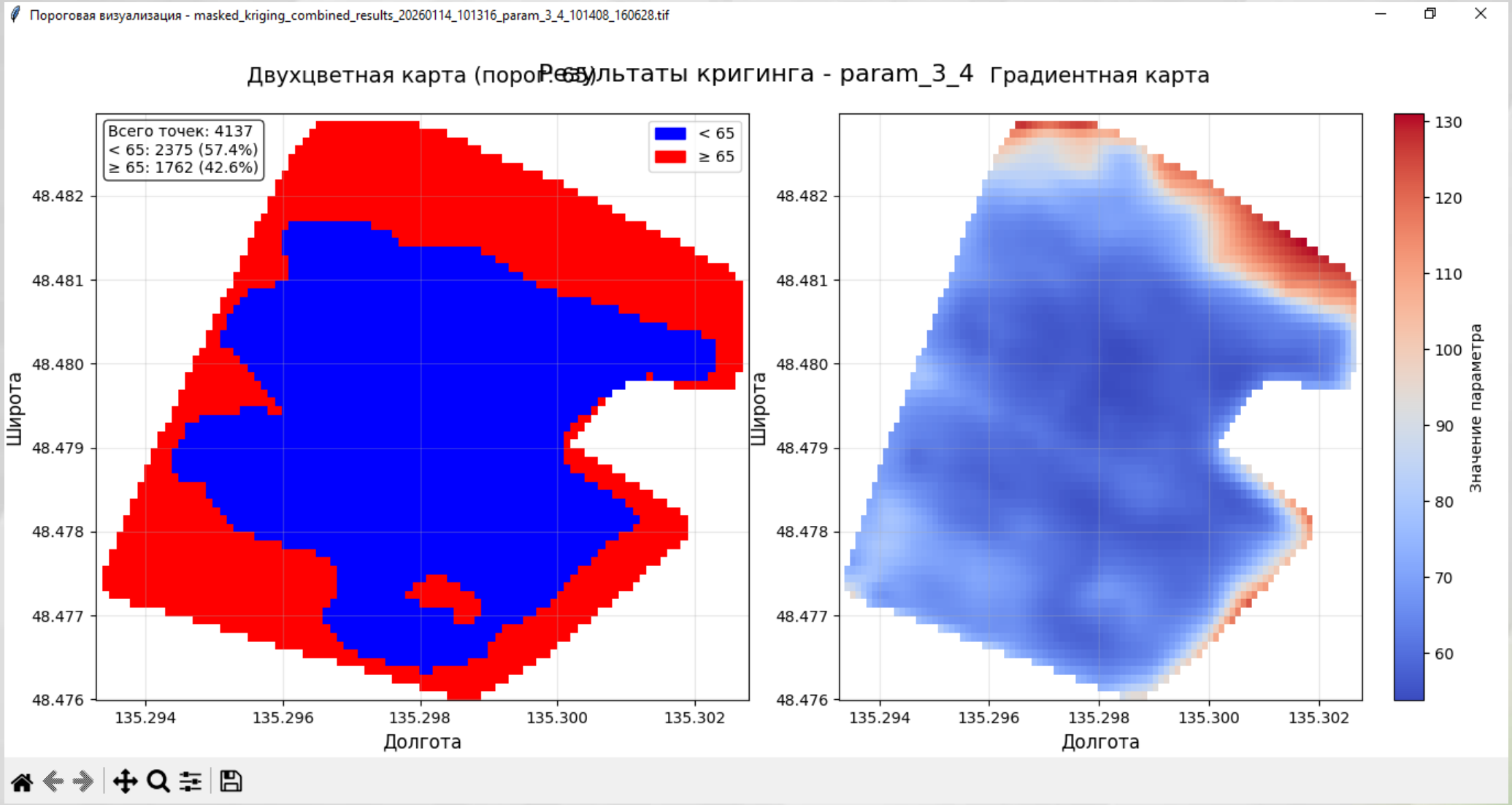
Скриншот работы программного комплекса

Формирование попиксельных изображений



Скриншот работы программного комплекса

Результаты кригинга



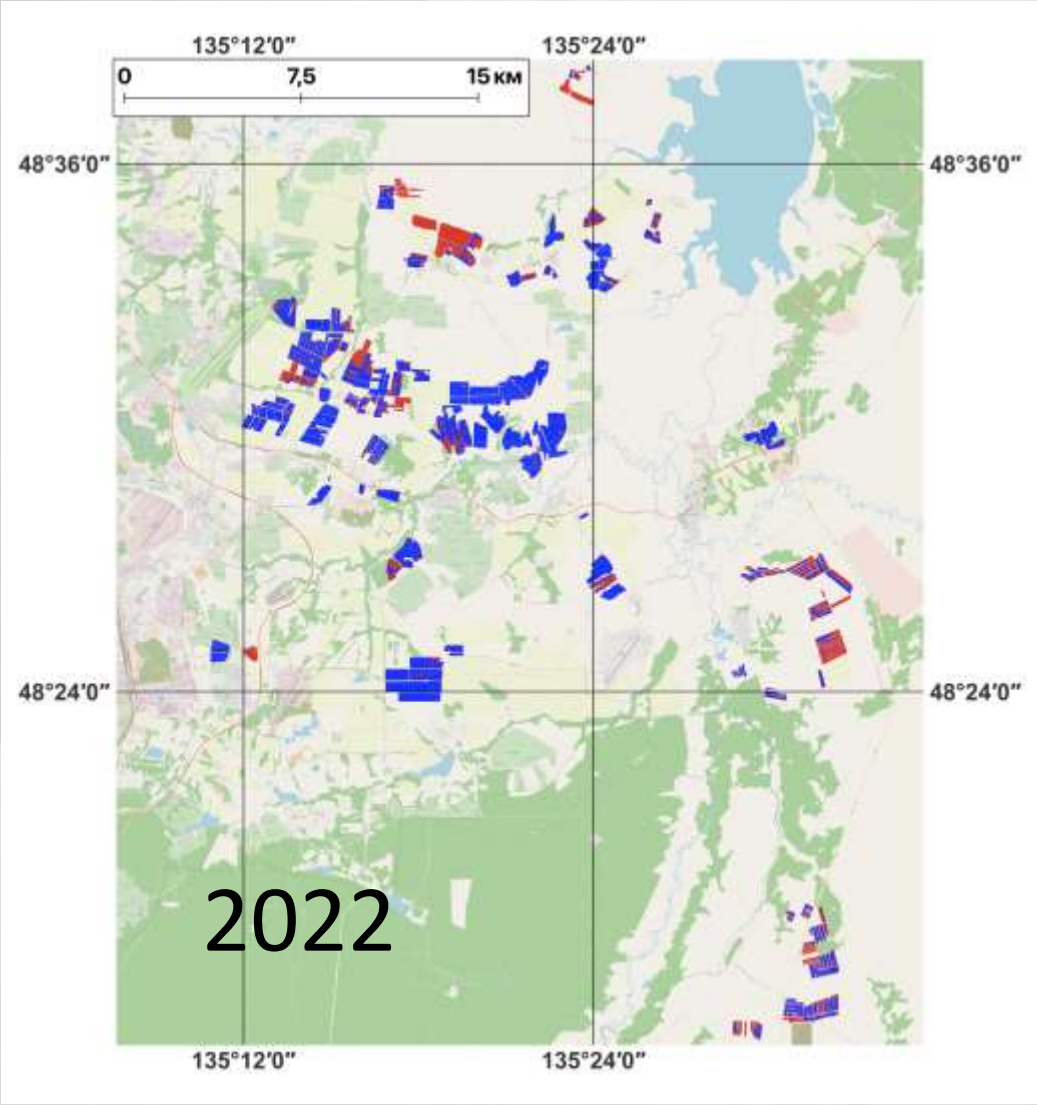
Скриншот работы программного комплекса

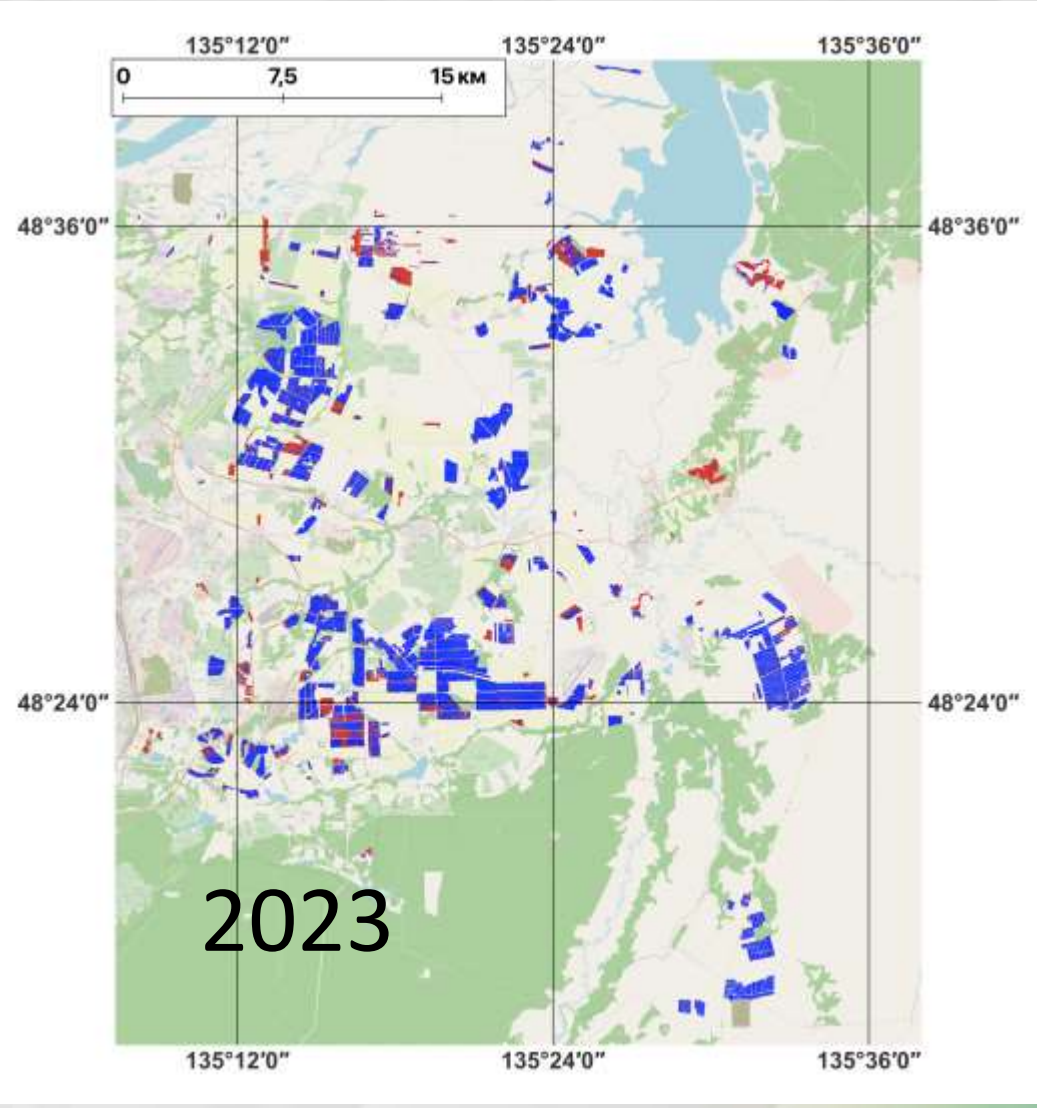
Использование программного комплекса для оценки засорённости полей сои Хабаровского края

Год	Кол-во полей сои	Доля засоренных полей, %	Доля засоренных пикселей на незасоренных полях, %	Доля засоренных пикселей на засоренных полях, %
2022	281	40,6	17,8	75,9
2023	554	24,3	12,8	76,9
2024	364	29,7	12,9	80,8
2025	297	36,4	16,3	76,6

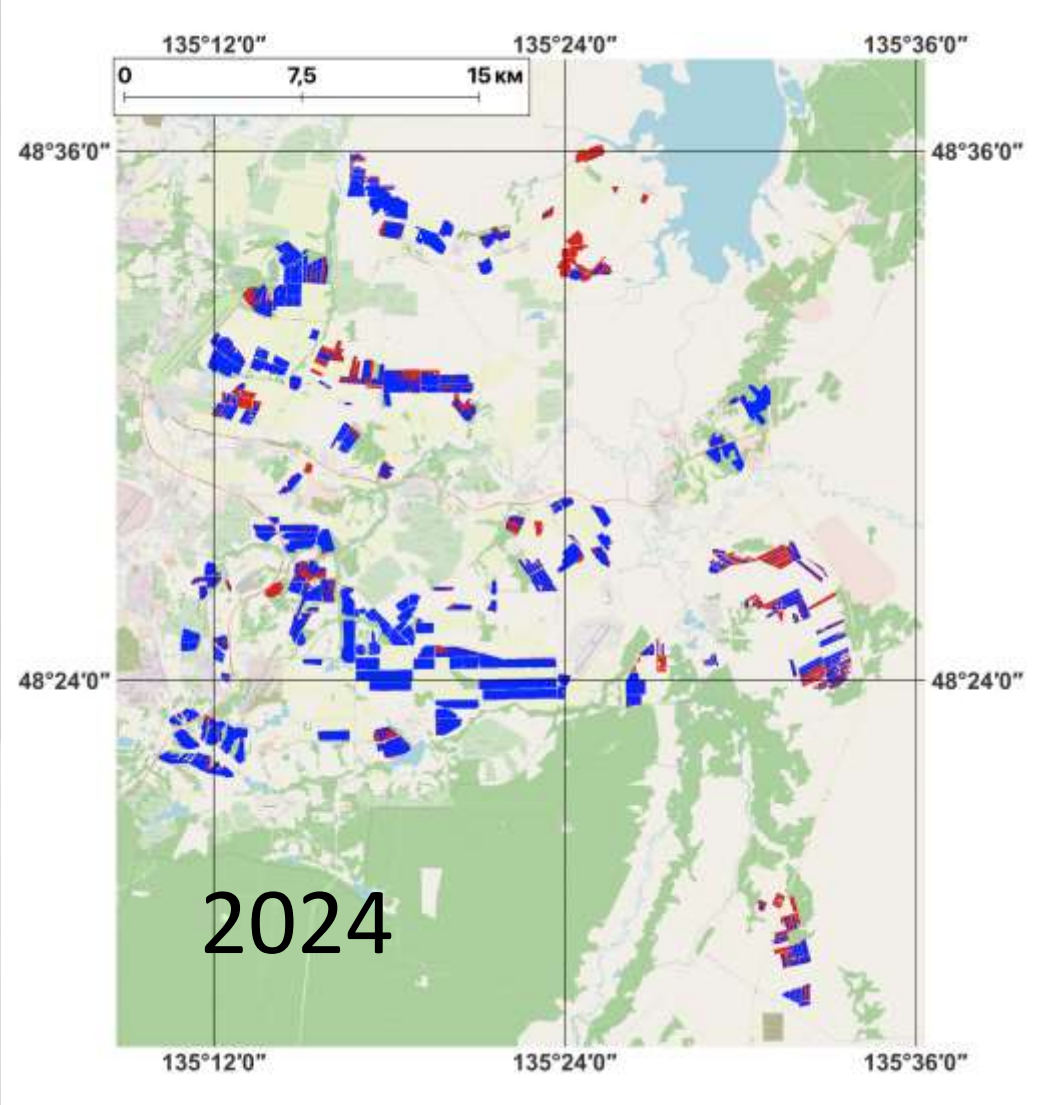
Установлена высокая засорённость полей сои в Хабаровском крае

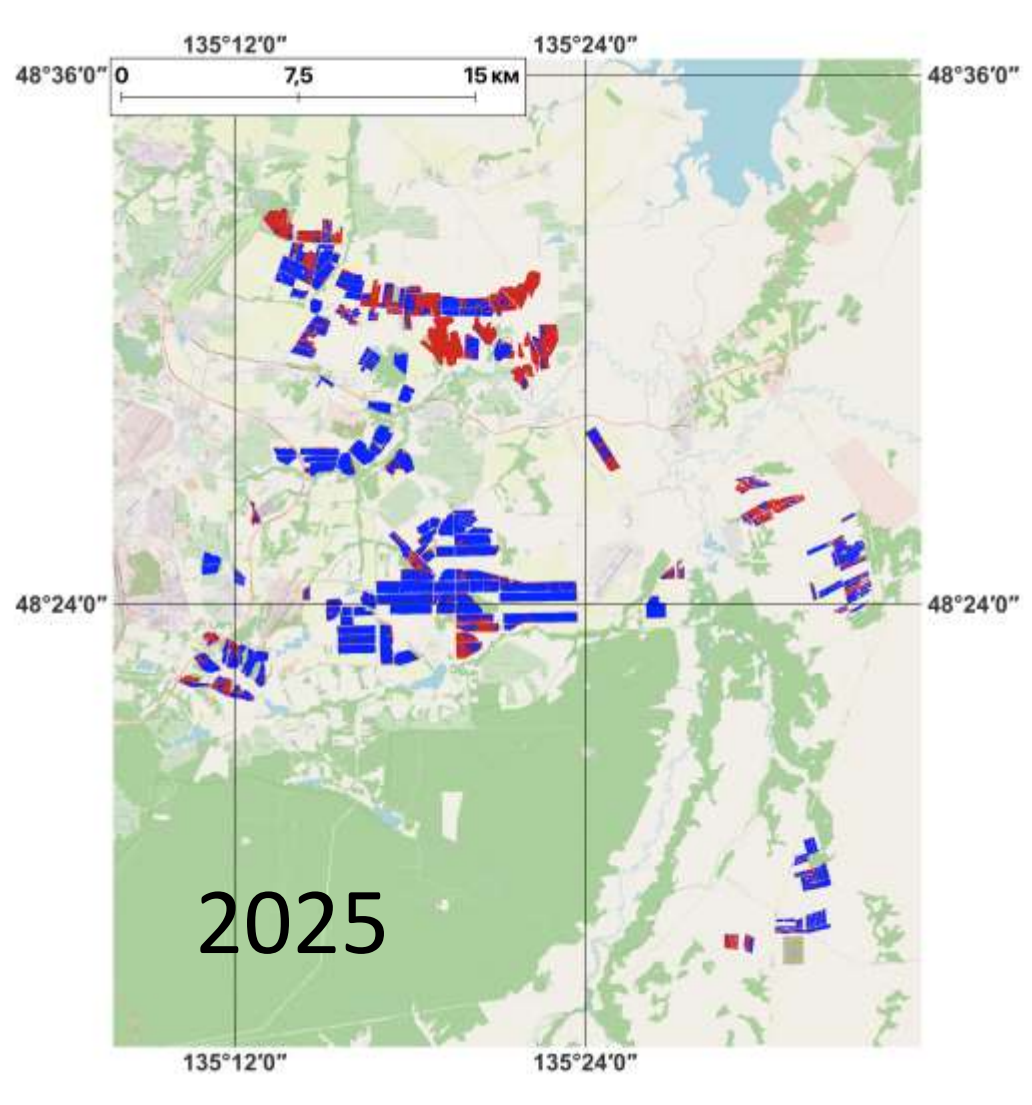
Карты засоренности полей сои в Хабаровском районе





Карты засоренности полей сои в Хабаровском районе





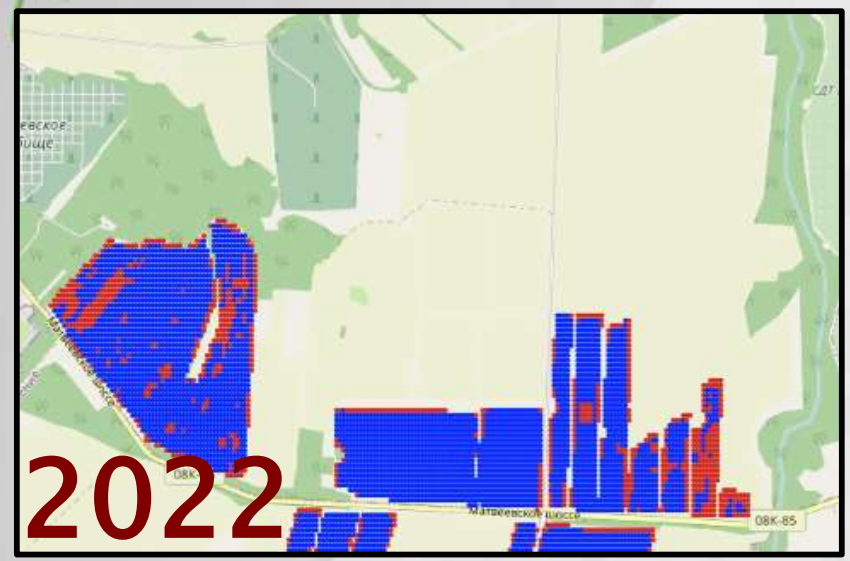
Определение участков с устойчивой засоренностью

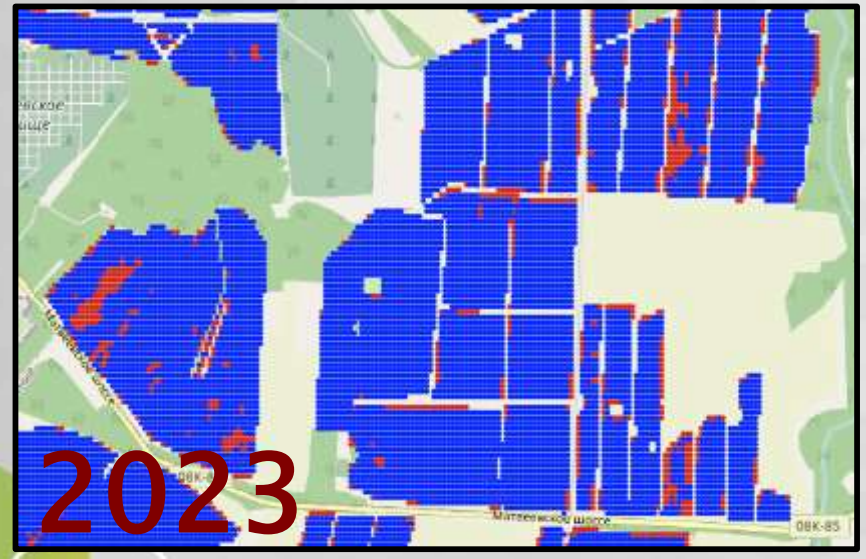
Засоренные поля с соей (Хабаровский район, 30 августа 2025 г.)





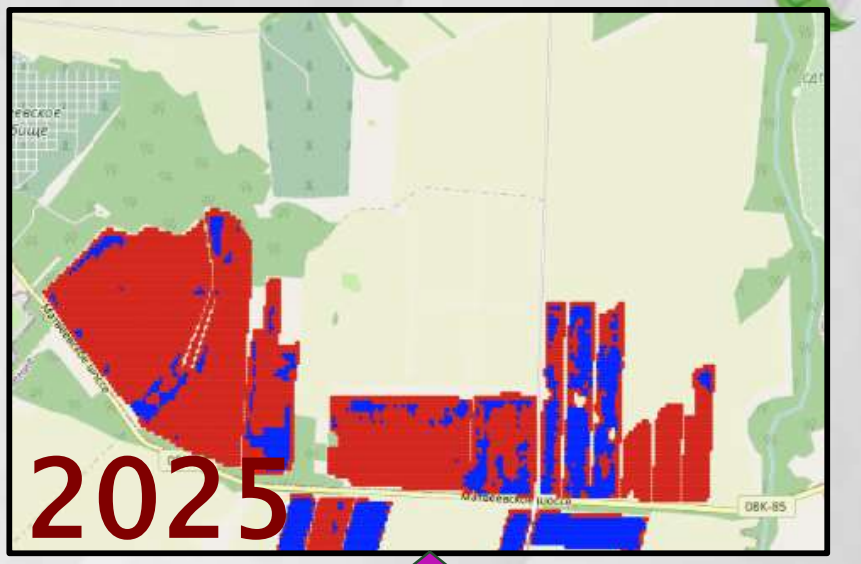
Определение участков с устойчивой засоренностью

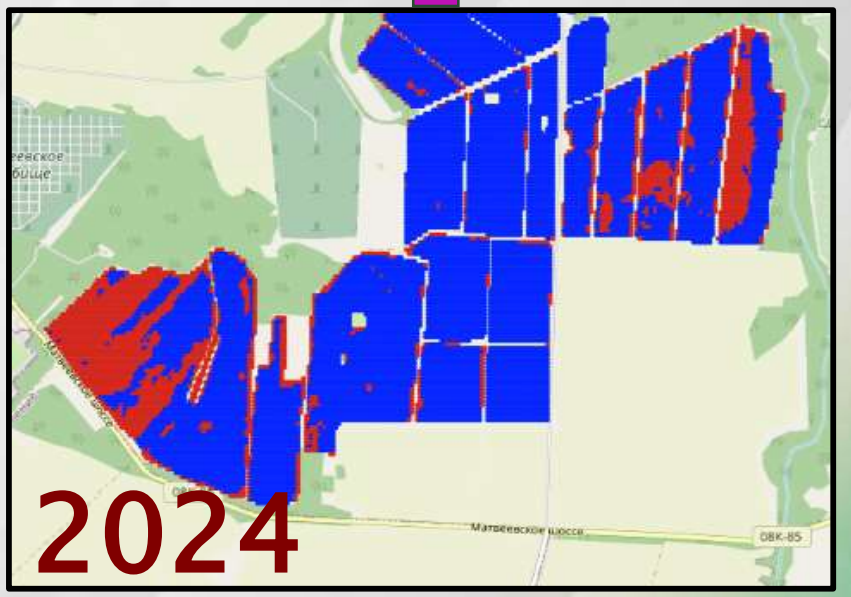




- Установлено избыточное развитие сорной растительности при нарушении севооборотов и неправильном использовании СЗР

- Разрабатывается комплекс мероприятий во взаимодействии с Россельхозцентром

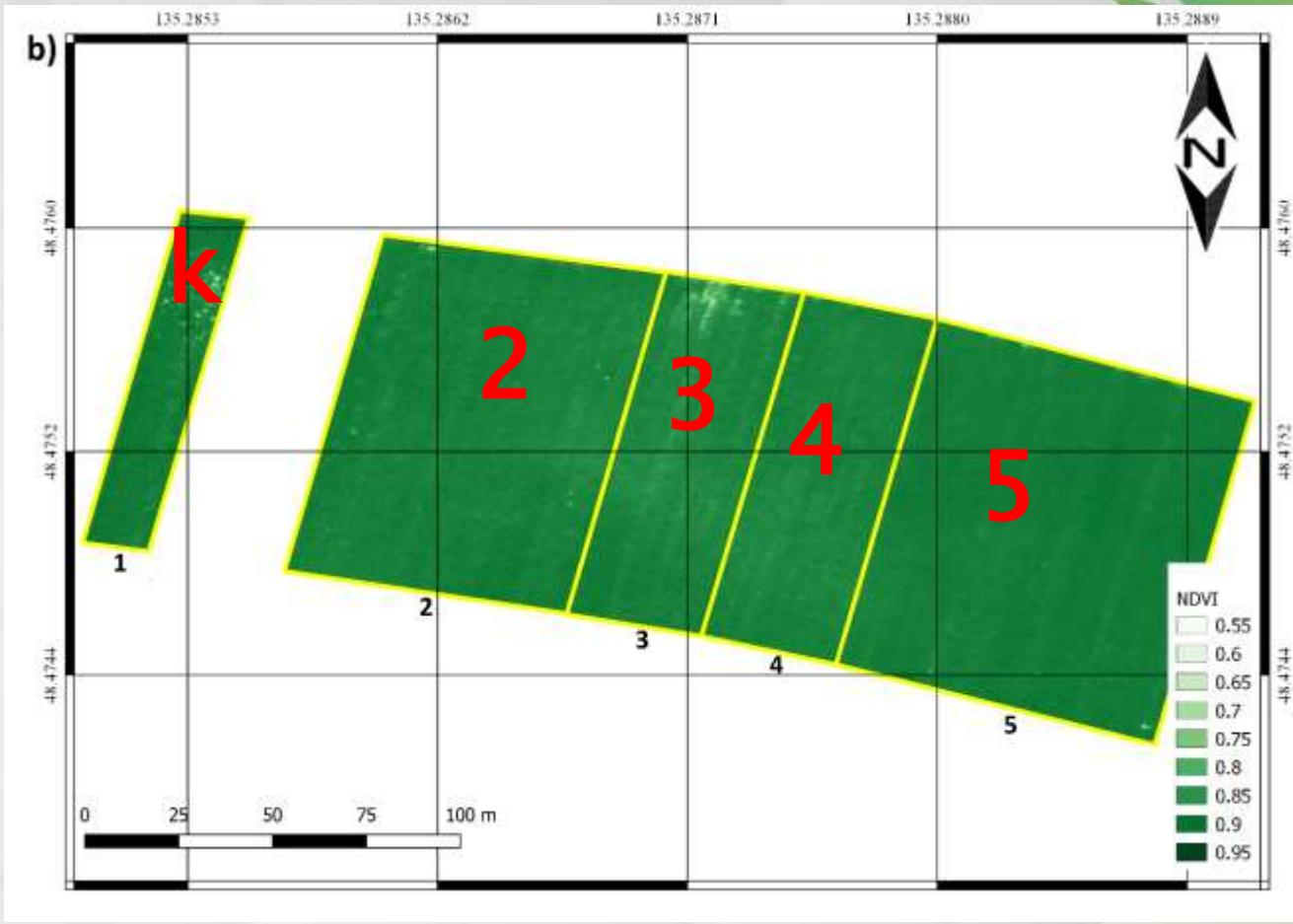




Оценка засоренности посевов сои с использованием данных БПЛА

Участки 2,3,4,5 – обработка разными системами защиты сои

Схема опытного поля



Характеристика пика	Контроль	Гербициды (2)	Гербициды (3)	Гербициды (4)	Гербициды (5)
$d_{1/2}$, дни	105	95	84	84	94
$d_{3/4}$, дни	70	60	54	56	59

Засоренность посевов сои (шт./м2) на контрольном и экспериментальных участках.

Корреляция между спутниковыми и наземными показателями.

Вариант	1 учет - (13.06.2024)	2 учет - (25.07.2024)	3 учет - (17.09.2024)
Контроль	130	360	**213**
1	109	61	**21**
2	22	12	**15**
3	104	28	**12**
4	127	54	**35**
$x_{ср}$(1-4)	**91**	**39**	**21**
σ	**46,7**	**22,8**	**10,2**
$x_{ср} + \Delta x_{ср}$	**239**	**111**	**37**

Показатели	$\overline{d_{1/2}}$	$\overline{d_{3/4}}$	X_1, шт./м²	X_2, шт./м²	X_3, шт./м²
$\overline{d_{1/2}}$	-	r=0,99 (p=0,001)	r=0,71 (p=0,17)	r=0,88 (p=0,04)	r=0,86 (p=0,03)
$\overline{d_{3/4}}$		-	r=0,69 (p=0,19)	r=0,92 (p=0,02)	r=0,90 (p=0,04)
X_1, шт./м²			-	r=0,50 (p=0,39)	r=0,44 (p=0,45)
X_2, шт./м²				-	r=0,99 (p=0,001)
X_3, шт./м²					-

Выводы

- Апробирована методика оценки засорённости посевов сои, основанная на анализе ширины сезонной кривой NDVI на уровне 1/2 и 3/4 от максимума (для спутниковой и БПЛА съемки).
- Создан и протестирован программный комплекс, реализующий цикл обработки данных ДЗЗ — от загрузки аппроксимированных временных рядов до генерации карт пространственного распределения засорённости методом кригинга. Комплекс обеспечивает автоматизацию трудоёмких процессов и предоставляет удобный графический интерфейс.
- Проведена оценка засоренности посевов Хабаровского района. Было установлено, что доля засоренных полей находилась в диапазоне от 24 до 40% в зависимости от года.
- Установлены высокие корреляционные связи между показателями дистанционных и наземных наблюдениях засоренностью посевов.

Публикации

1. Обработка данных беспилотных летательных аппаратов в задаче сельского хозяйства / **А. С. Бордаков**, А. С. Степанов // Far East Math - 2024 : Материалы V национальной научной конференции, Хабаровск, 02–07 декабря 2024 года. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2025. – С. 111-116.
2. Построение временных рядов NDVI по результатам БПЛА съёмки сельскохозяйственных полей Хабаровского края / **А. С. Бордаков**, А. С. Степанов, Е. А. Фомина // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Хабаровск, 15–17 сентября 2025 года. – Хабаровск: Хабаровский Федеральный исследовательский центр, 2025. – С. 32-3.
3. Мониторинг сельскохозяйственных полей Хабаровского края по данным ДЗЗ и наземных наблюдений / А. С. Степанов, **А. С. Бордаков**, Е. А. Фомина [и др.] // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : Материалы XII Международной научной конференции, Красноярск, 09–12 сентября 2025 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2025. – С. 337-341.
4. Дубровин, К. Н. Оценка мелиоративного состояния пахотных земель Хабаровского края с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса / К. Н. Дубровин, А. Л. Верхотуров, **А. С. Бордаков** // Материалы 23-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, 10–14 ноября 2025 года. – Москва: Институт космических исследований РАН, 2025. – С. 363

Публикации

5. Информационное обеспечение спутникового мониторинга земель сельхозназначения Хабаровского края / Л. В. Илларионова, В. А. Елисеев, Д. В. Федосеев [и др.] // Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве : Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Проводится под эгидой 300-летия Российской академии наук, Санкт-Петербург, 19–20 сентября 2024 года. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 42-47.
6. Дубровин, К. Н. Использование данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга пахотных земель Хабаровского края / К. Н. Дубровин, Е. А. Фомина, А. С. Бордаков // Материалы 22-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, 11–15 ноября 2024 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2024. – С. 172. – EDN SLYVWA.
7. Изучение влияния длительного применения удобрений на плодородие почв и NDVI посевов пшеницы и сои с использованием данных БПЛА и наземных наблюдений (на примере Приморского края) / А. С. Степанов, Р. В. Тимошинов, К. Н. Дубровин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2025. – Т. 39, № 12. – С. 17-22.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684901 Российская Федерация. Программный комплекс автоматизированной обработки композитных изображений спутника Метеор для получения сезонных временных рядов NDVI для сельхозугодий Хабаровского края : № 2024683116 : заявл. 08.10.2024 : опубл. 22.10.2024 / Л. В. Илларионова, А. С. Степанов, Е. А. Фомина [и др.]

Свидетельство о государственной регистрации программы

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026614865 Российская Федерация. Разработка программного комплекса для определения засорённости сои по данным ДЗЗ : заявл. 06.02.2026 : опубл. 18.02.2026 / **А. С. Бордаков**, Л. В. Илларионова, А. С. Степанов ;



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026614865

Разработка программного комплекса для определения засорённости сои по данным ДЗЗ

Правообладатель: *ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (RU)*

Авторы: *Бордаков Артём Сергеевич (RU), Илларионова Любовь Викторовна (RU), Степанов Алексей Сергеевич (RU)*

Заявка № 2026613398

Дата поступления 06 февраля 2026 г.

Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ *18 февраля 2026 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Спасибо за внимание

