



**АЛТАЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПАХАННОСТИ УЧАСТКОВ ЛИЧНЫХ ПОДСОБНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Сабаев Артем Александрович

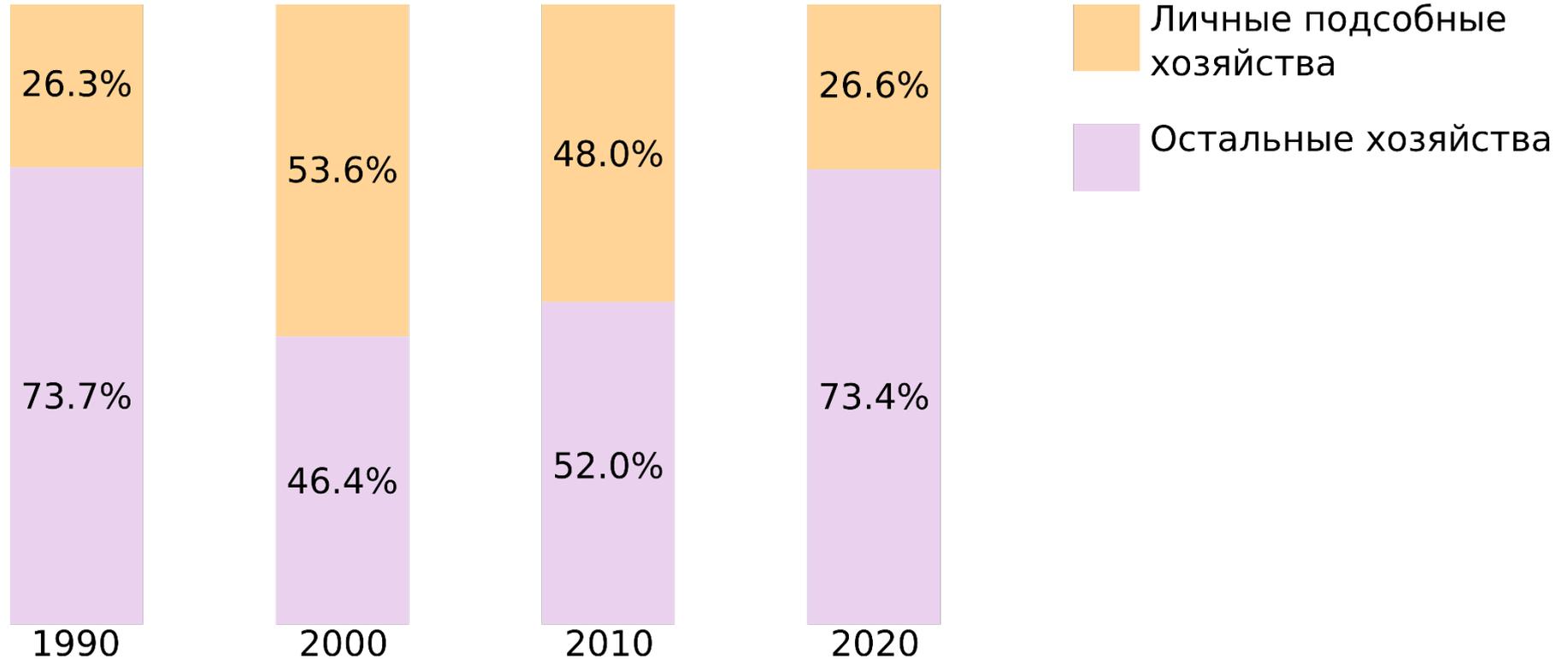
к.т.н., доцент Понькина Елена Владимировна

Белокуриха 2025

Количество пахотных земель по данным сельскохозяйственных переписей, Россия, тыс. га

	2006 г.	2016 г.	Прирост, тыс. га (%)
Пашня, всего	102 140.0	94 641.1	-7 498.9 (-7.3%)
Пашня, ЛПХ	2 540.4	2 700.0	+159.6 (6.3%)
Залежные земли ЛПХ	1 730.1	3 936.7	+2 206.6 (127.5%)

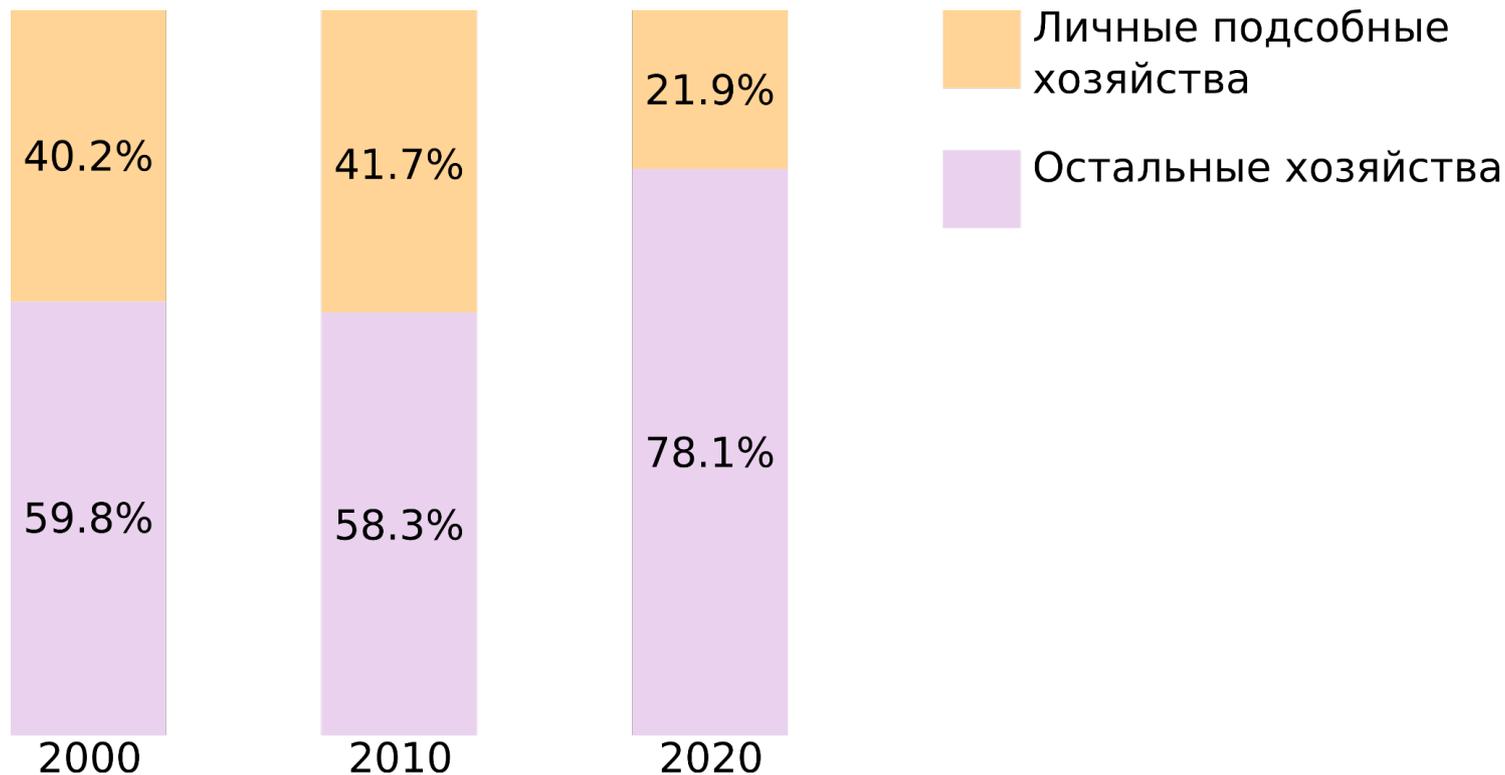
Структура продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств, Россия



Количество пахотных земель по данным сельскохозяйственных переписей, Алтайский край, тыс. га

	2006 г.	2016 г.	Прирост
Пашня, всего	6 011.6	6 129.3	+117.7 (1.95%)
Пашня, ЛПХ	63.1	31.4	-31.7 (-50.2%)
Залежные земли ЛПХ	22.5	50.0	+27.5 (122.2%)

Структура продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств, Алтайский край



Экологические последствия забрасываемости / нераспахиваемости участков ЛПХ

Положительные	Отрицательные
Снижение выброса парниковых газов (Hawes, et. al., 2024)	Увеличение рисков и площадей распространения пожаров (Фокин, 2016)
Восстановление природной среды (Мошкина и др., 2020)	Распространение сорной растительности (в том числе борщевика Сосновского) (Фокин, 2016)
—	Место обитания диких животных разносчиков инфекций (Фокин, 2016)

Социально-экономические процессы, связанные с забрасываемостью участков ЛПХ

Положительные	Отрицательные
—	Снижение эстетической привлекательности сельского ландшафта
—	Снижение количества трудоспособного населения в сёлах (Дулепинских, Л.Н., Светлаков, А.Г., 2021)
—	Снижение производства сельскохозяйственной продукции
—	Депопуляция сельских территорий

Актуальность исследования

- (I) Личные подсобные хозяйства (ЛПХ) играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и социальной стабильности сельского населения.
- (II) Исследование забрасываемости земель ЛПХ и факторов, способствующих забрасываемости, необходимо для понимания факторов изменения аграрного землепользования и понимания паттернов развития сельских территорий.
- (III) Разработка инструментария мониторинга использования пашни участков ЛПХ является важной для системы государственного контроля и мониторинга процессов землепользования.

Цель работы

Разработать геоинформационную технологию для детектирования наличия пашни и оценки степени распаханности участков ЛПХ на основе разновременных спутниковых данных Sentinel-2.

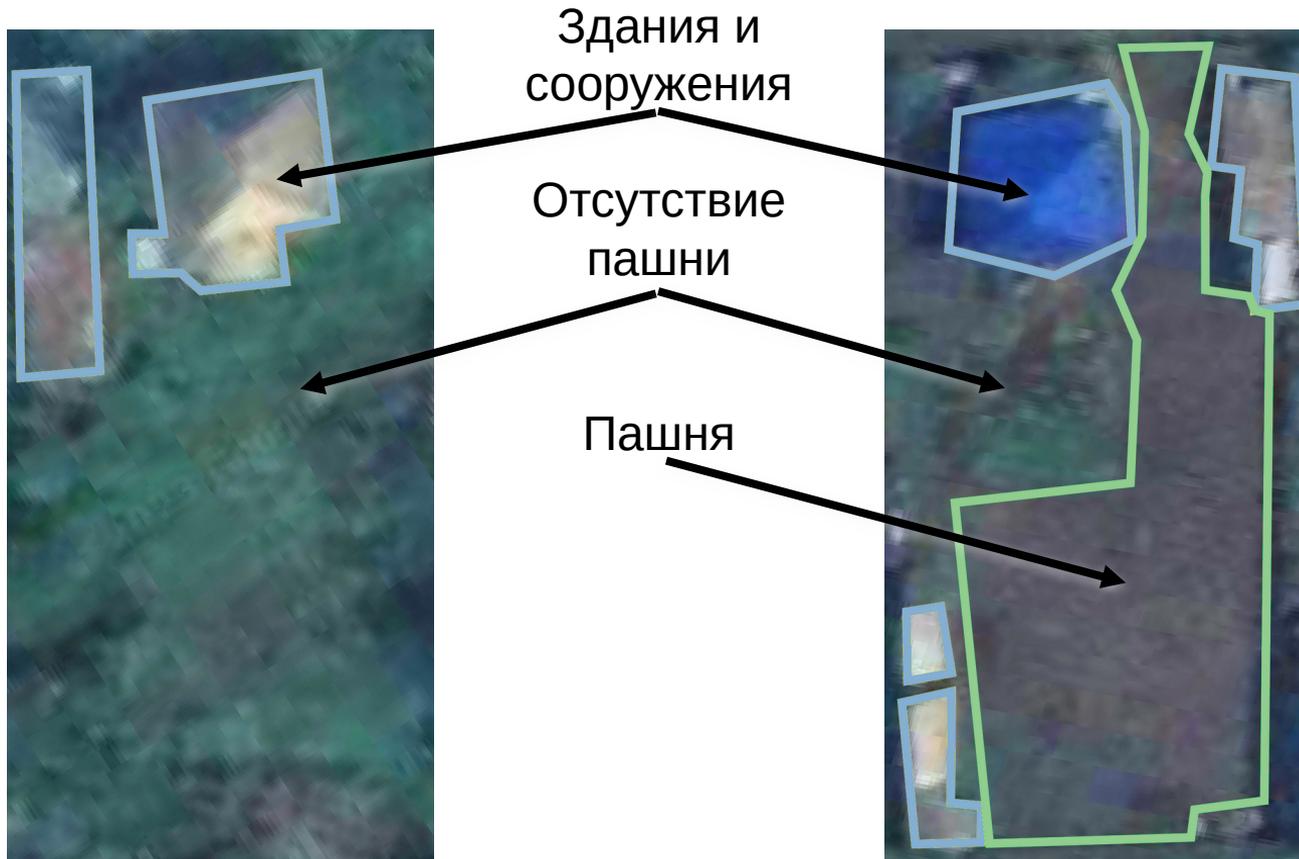
Вопросы исследования:

1. Какова точность детектирования наличия пашни в ЛПХ?
2. Какой из ML-методов дает лучшие оценки точности детектирования?
3. Какова точность оценки площади распашки по данным Sentinel-2?

Заброшенные и распахиваемые участки ЛПХ

Заброшенный участок не имеет
видимых следов распашки

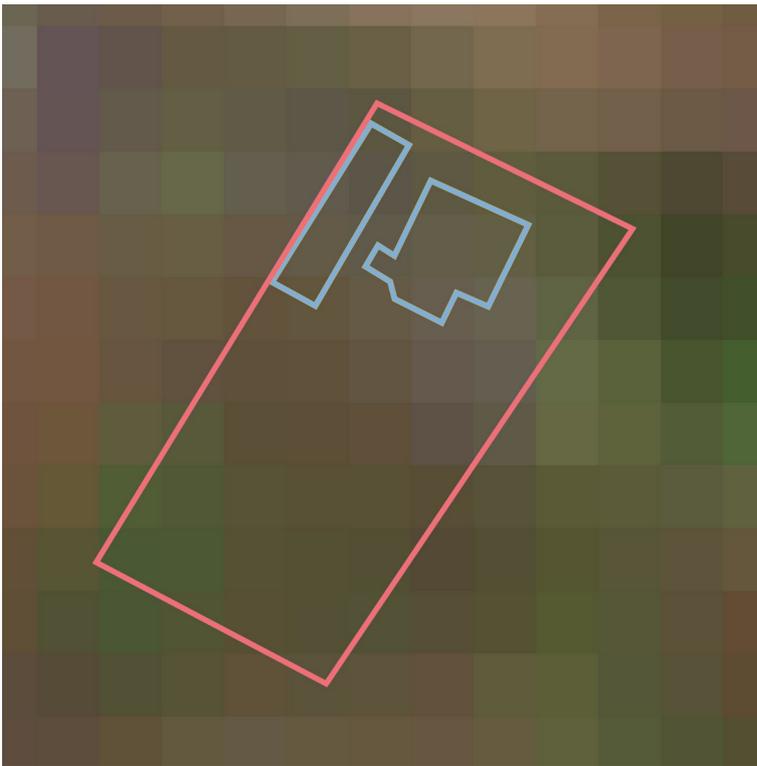
Распахиваемый участок имеет
видимые следы распашки



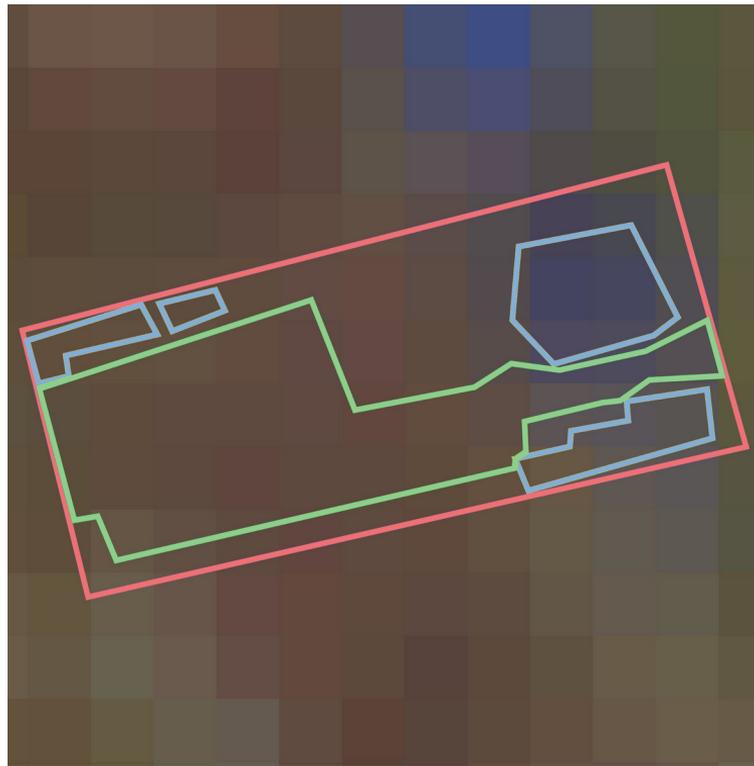
Участки с. Кытманово,
спутниковые снимки
Махаг,
пространственное
разрешение 0.6 м,
июль 2024 г.

Заброшенные и распахиваемые участки ЛПХ

Заброшенный участок



Распахиваемый участок



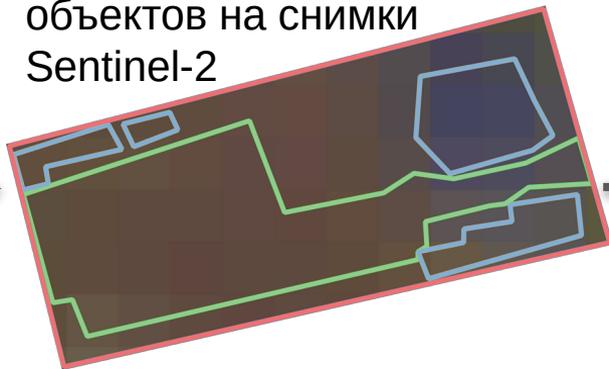
Участки с.
Кытманово,
спутниковые
снимки Sentinel-2,
разрешение 10 м,
июль 2024 г.

Алгоритм исследования

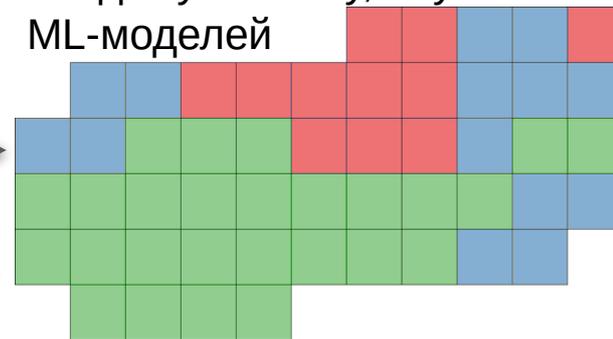
1. Выделение классов "вручную" на снимке Махар



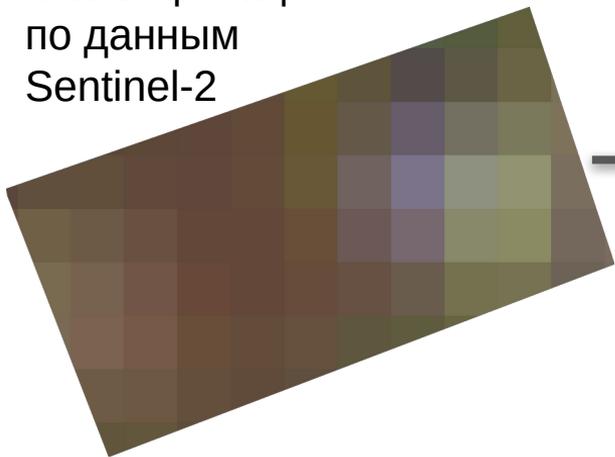
2. Перенос размеченных объектов на снимки Sentinel-2



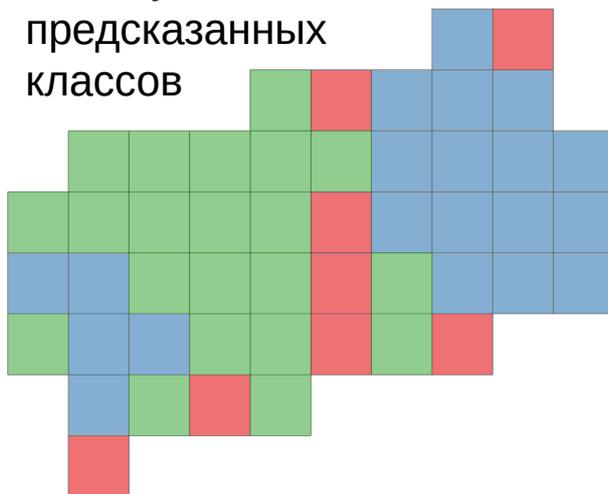
3. Назначение класса каждому пикселу, обучение ML-моделей



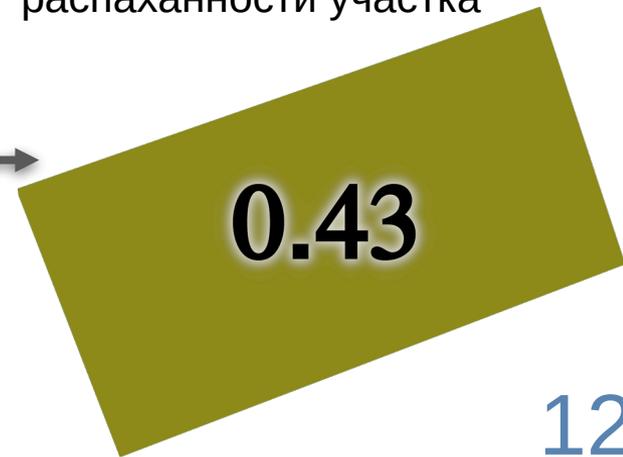
4. Прогностическая классификация по данным Sentinel-2



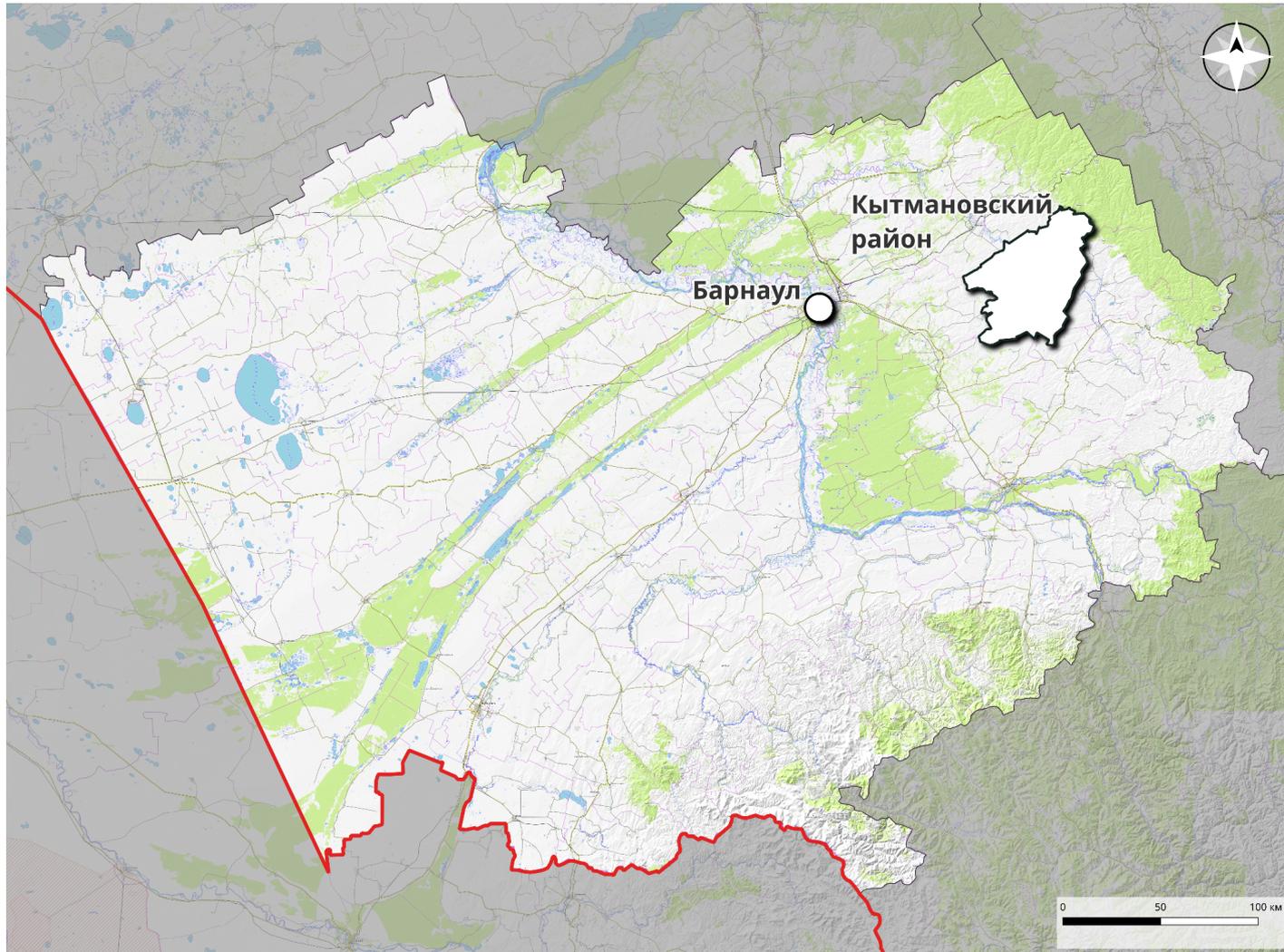
5. Получение предсказанных классов



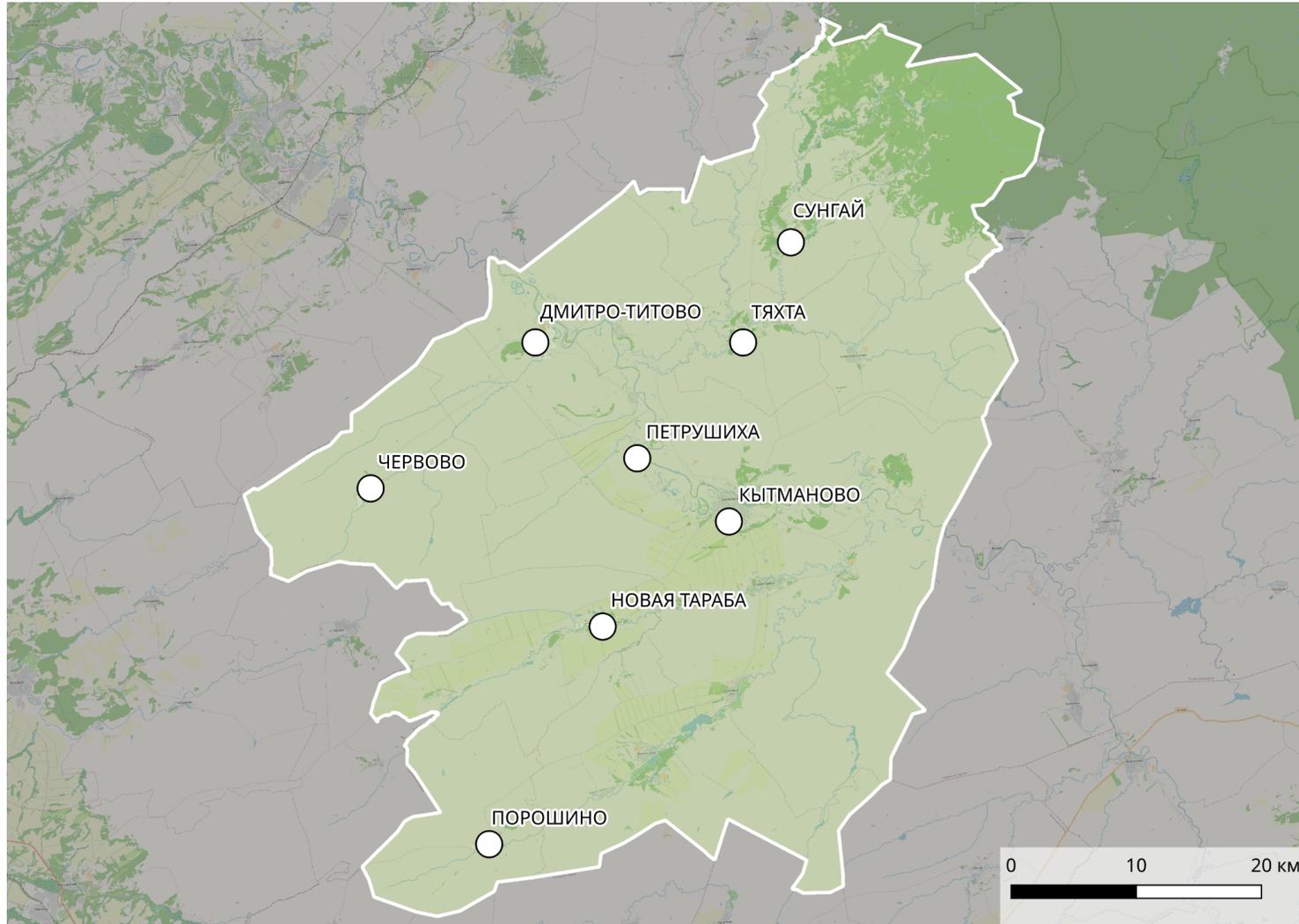
6. Вычисление степени распаханности участка



Территория исследования

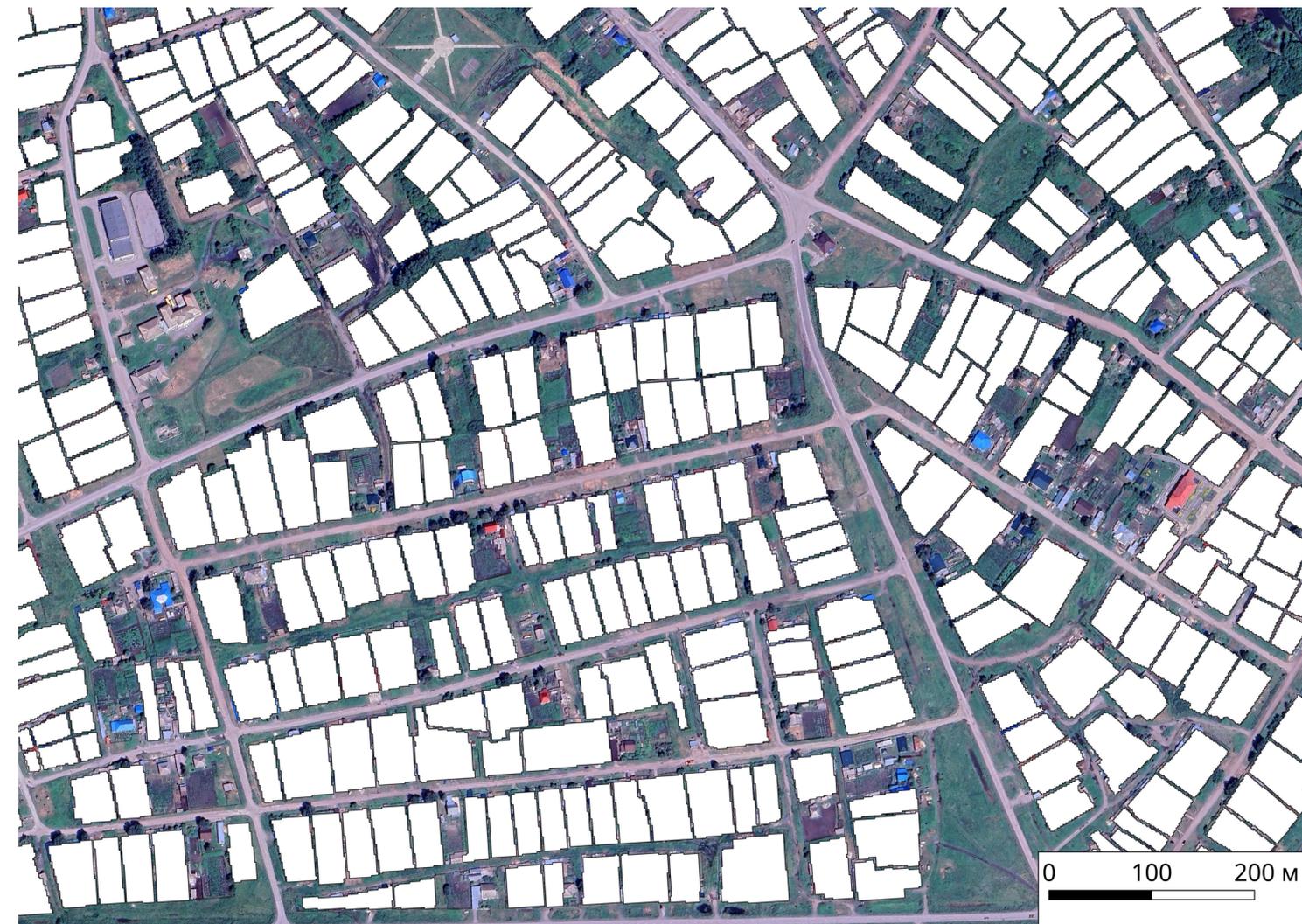


Территория исследования



Подготовка выборки участков ЛПХ

Итого участков – 1139



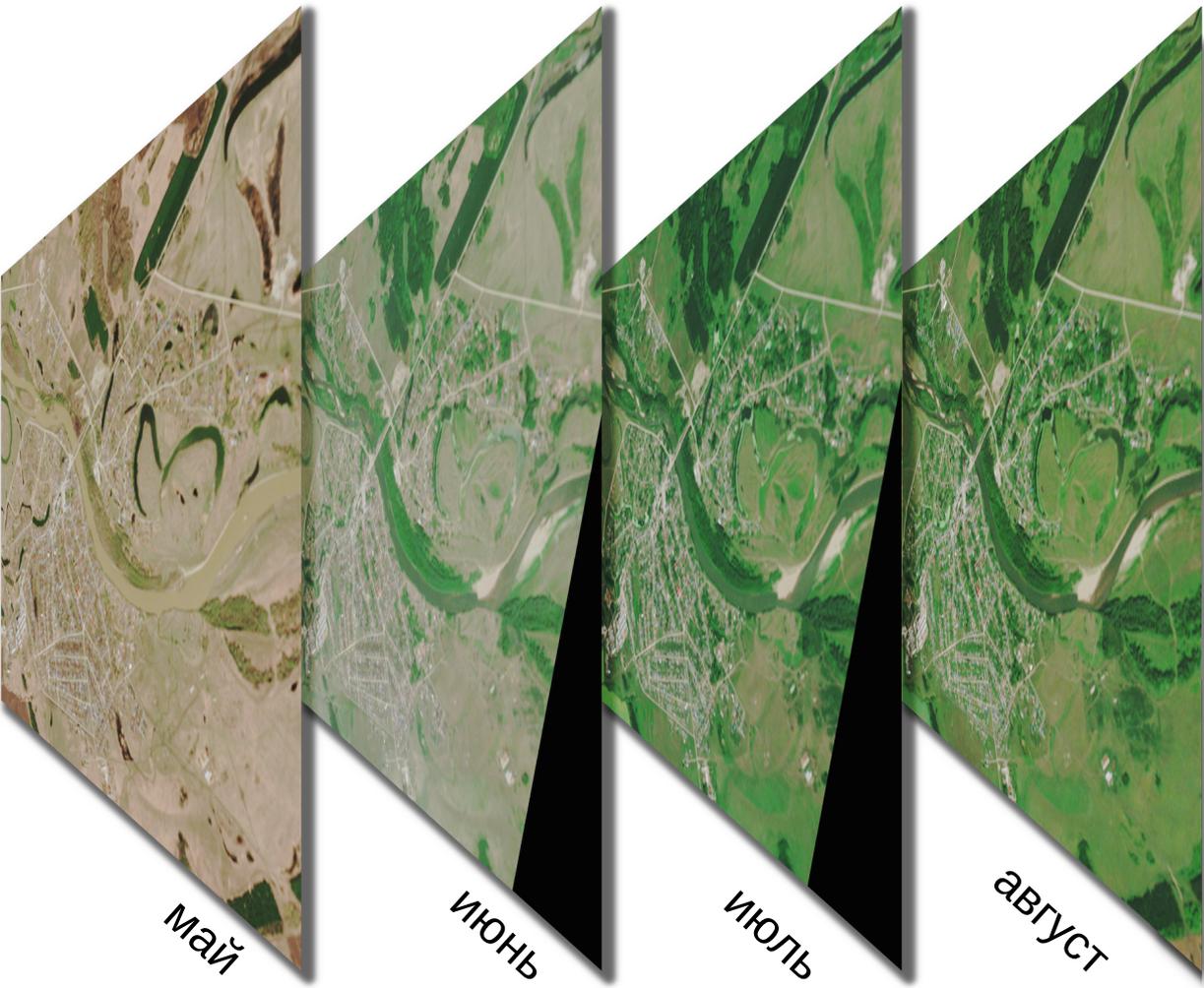
Классификация объектов выборки



-  Класс 1 – пашня, 1387 объектов
-  Класс 2 – иные земли, 1202 объектов
-  Класс 3 – здания и сооружения, 3140 объектов

С. Кытманово, июль 2024 г., спутниковый снимок Махаг.

Подготовка тестовой и тренинговой выборки



8 спутниковых снимков Sentinel-2 без облачности
с 13 мая 2024 г. по 01 августа 2024 г.
на территорию Кытмановского
района.

Выбор индексов

Вегетационные индексы:

$$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Green}}{\text{NIR} + \text{Green}} \quad (1)$$

$$\text{MCARI} = ((\text{IR} - \text{Red}) - 0.2 * (\text{IR} + \text{Green})) * \left(\frac{\text{IR}}{\text{Red}} \right) \quad (2)$$

Индекс влажности растительности:

$$\text{NDMI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} \quad (3)$$

Статистическая значимость предикторов (p-value) по мультиномиальной логистической регрессии

	GNDVI	MCARI	NDMI
max	$<2e^{-16}$	$<2e^{-16}$	0.274
median	0.047	$<2e^{-16}$	$<2e^{-16}$
min	$<2e^{-16}$	0.051	$<2e^{-16}$
max-min	$4.2e^{-7}$	$<2e^{-16}$	$<2e^{-16}$
max-median	$<2e^{-16}$	$<2e^{-16}$	$2.3e^{-14}$
median-min	$3.5e^{-10}$	$2.9e^{-15}$	$1.3e^{-11}$

Алгоритм классификации



Параметры обучения моделей и оценки их качества

Параметры классификации:

15 отобранных предикторов.

70% обучающей выборки (802 участка, 9949 пикселей).

30% тестовой выборки (337 участков, 4264 пикселя).

Метрики точности:

Overall Accuracy (Общая точность) –

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{TP}{N} \quad (5)$$

Producer's Accuracy (Точность производителя) –

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{TP_i}{TP_i + FN_i} \quad (6)$$

User's Accuracy (Точность пользователя) –

$$\text{User's Accuracy} = \frac{TP_i}{TP_i + FP_i} \quad (7)$$

TP – количество верно классифицированных пикселей (True Positives) для всех классов

TP_i – количество верно классифицированных пикселей класса i (True Positives)

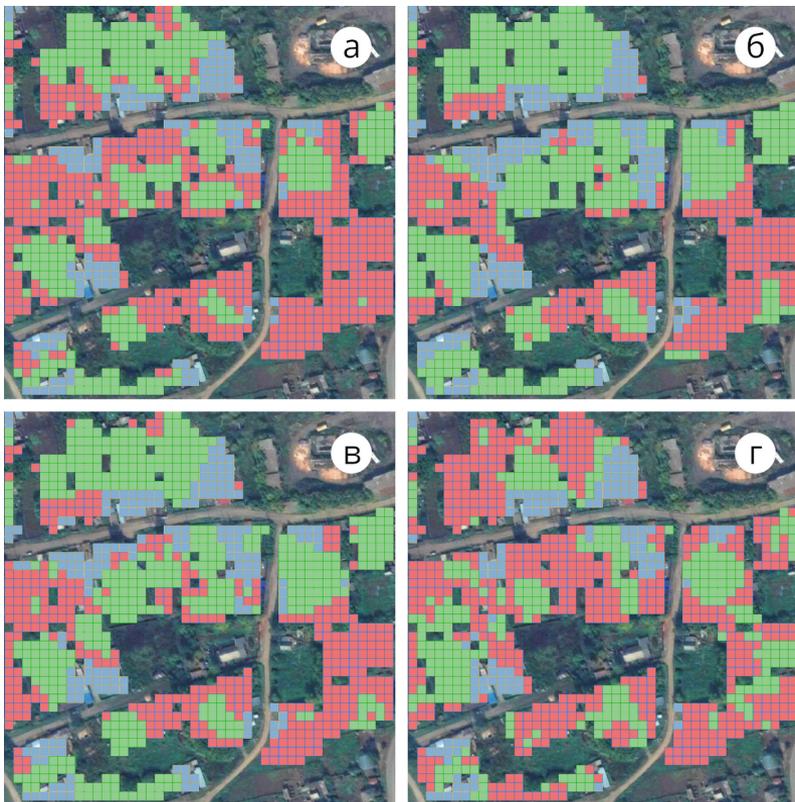
FN_i – количество фактических объектов класса i, неверно классифицированных (False Negatives)

FP_i – количество объектов других классов, неверно классифицированных как класс i (False Positives)

Результаты: Точность классификации по тренинговой / тестовой выборкам

Номер класса	Метрики точности	Градиентный бустинг (Gradient Boosting)	Случайный лес (Random Forest)	Метод опорных векторов (Support Vector Machines)	Дерево решений (Decision Tree)
	Overall Accuracy	0.735 / 0.707	0.699 / 0.698	0.679 / 0.681	0.649 / 0.654
1	Producer's Accuracy	0.774 / 0.734	0.711 / 0.713	0.620 / 0.636	0.593 / 0.614
	User's Accuracy	0.786 / 0.761	0.771 / 0.776	0.802 / 0.794	0.798 / 0.804
2	Producer's Accuracy	0.597 / 0.576	0.570 / 0.589	0.629 / 0.645	0.654 / 0.660
	User's Accuracy	0.693 / 0.636	0.637 / 0.619	0.565 / 0.560	0.524 / 0.518
3	Producer's Accuracy	0.836 / 0.810	0.817 / 0.792	0.786 / 0.763	0.697 / 0.689
	User's Accuracy	0.725 / 0.717	0.693 / 0.701	0.712 / 0.728	0.697 / 0.715

Результаты: Предсказанные результаты

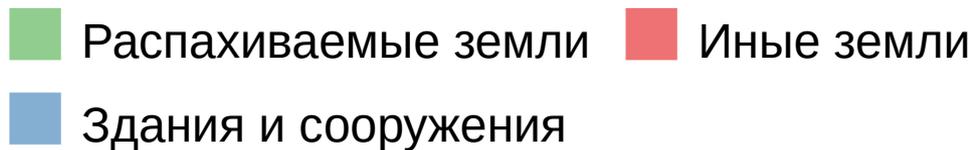


а) Градиентный бустинг
(Gradient Boosting)

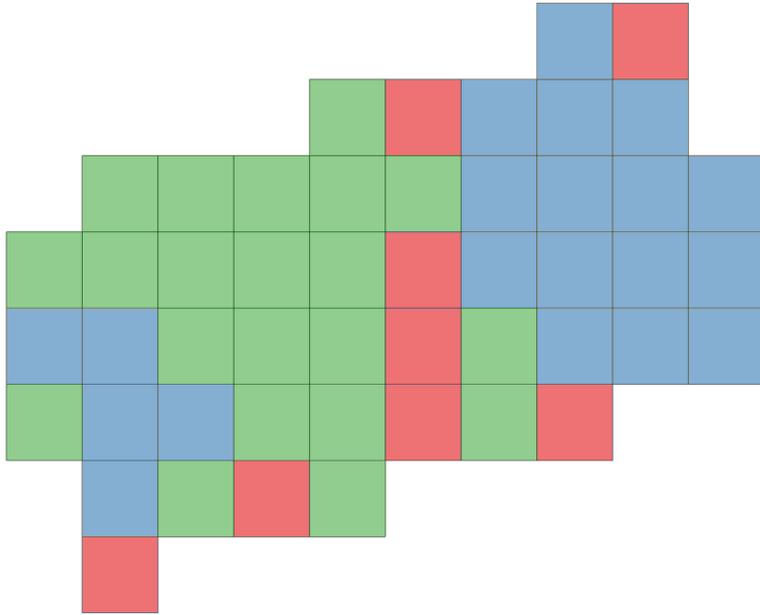
б) Дерево решений
(Decision Tree)

в) Случайный лес
(Random Forest)

г) Метод опорных векторов
(Support Vector Machines)



Расчёт степени распаханности



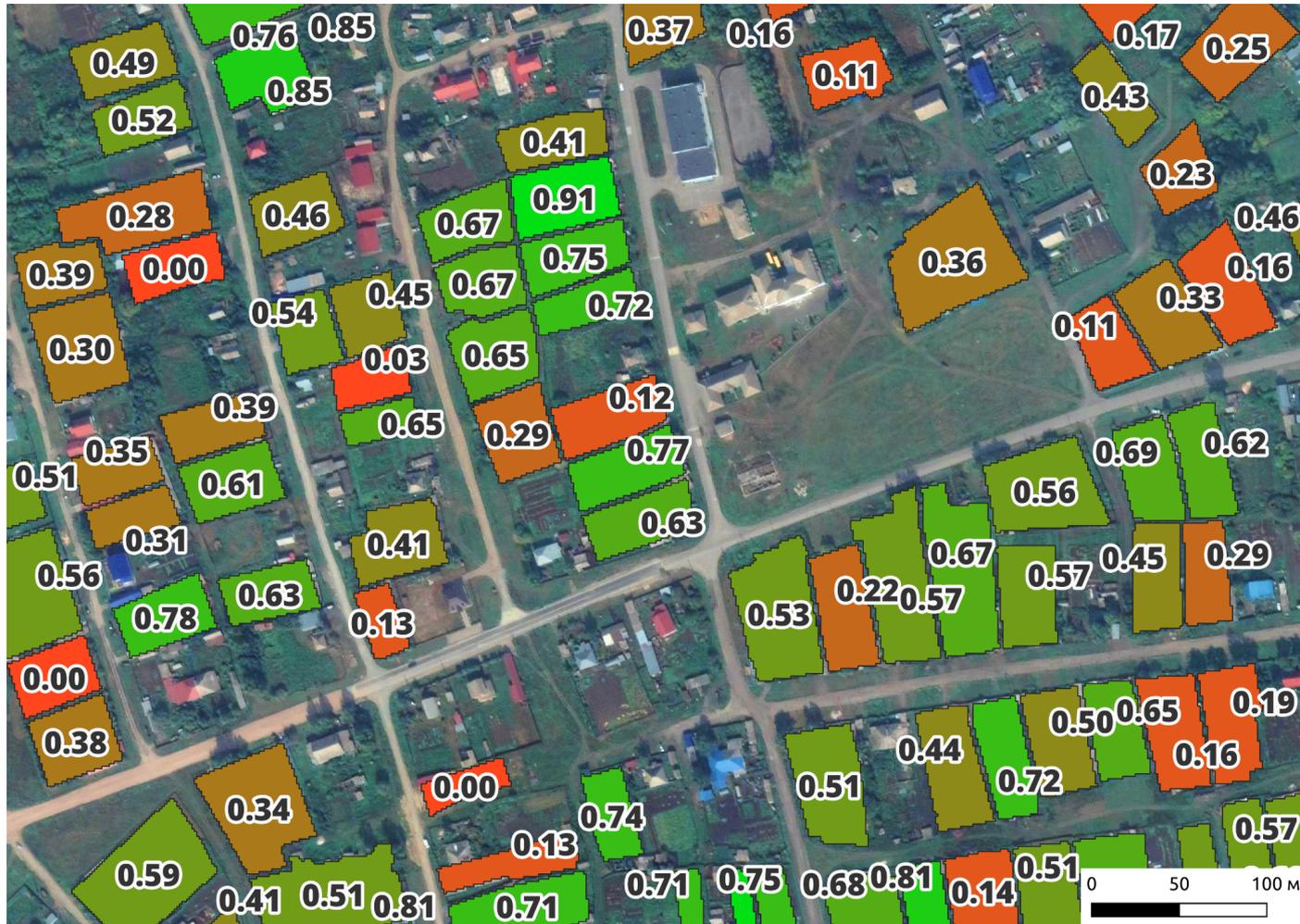
Степень распаханности: (8)

N – общее количество пикселей участка

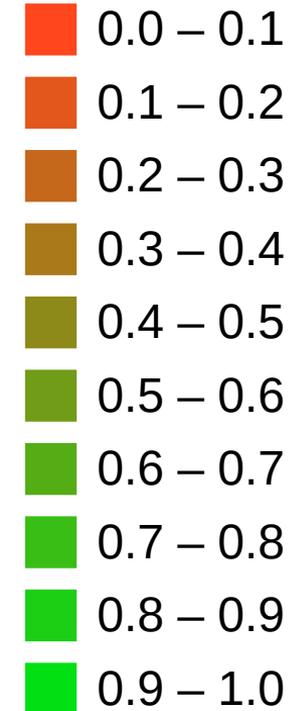
N_1 – количество пикселей класса 1 (распахиваемые земли)

N_3 – количество пикселей класса 3 (здания и сооружения)

Результаты: Степень распаханности участка ЛПХ, градиентный бустинг

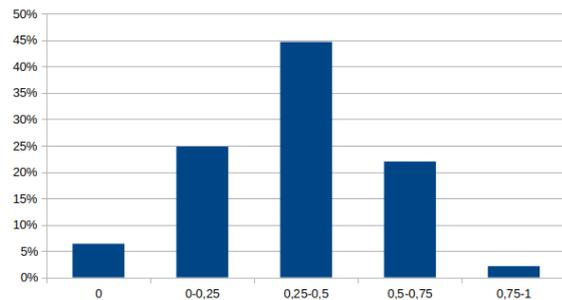


Распаханность

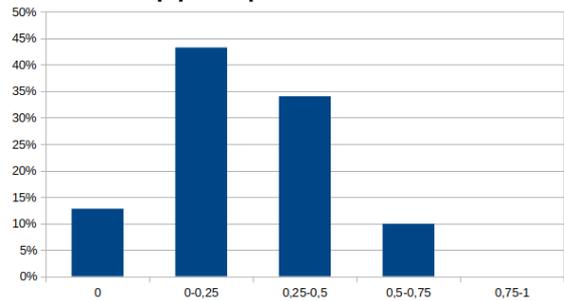


Результаты: Распределение участков ЛПХ участков по степени распаханности в сёлах Кытмановского района, 2024 г.

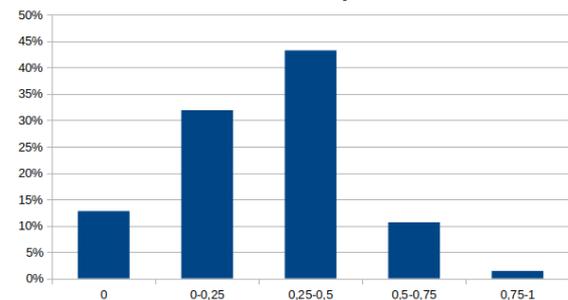
Кытманово



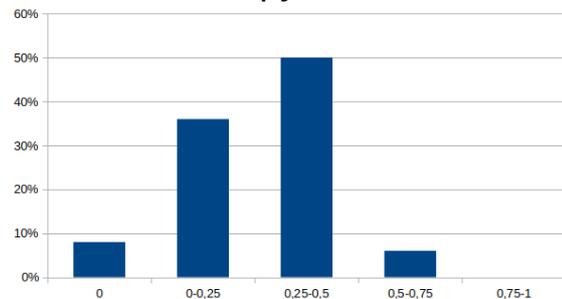
Дмитро-Титово



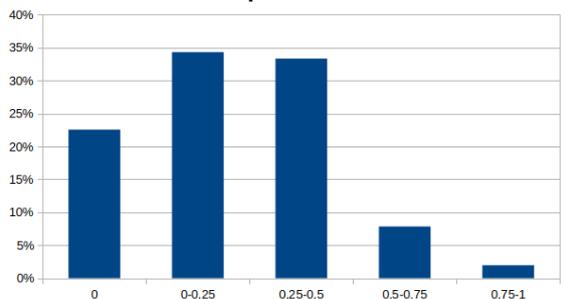
Новая Тараба



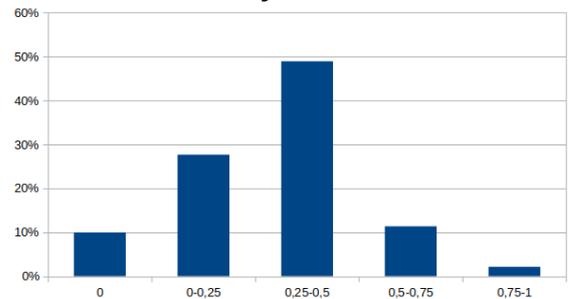
Петрушиха



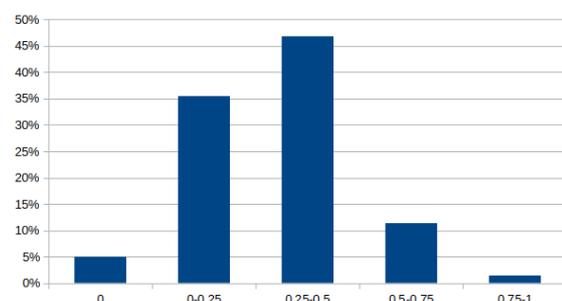
Порошино



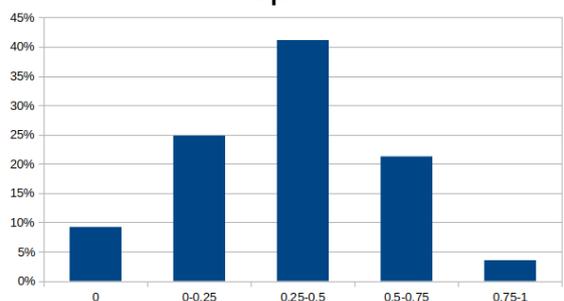
Сунгай



Тяхта



Червово



Выводы и перспективы развития работы:

1. Разработан геоинформационный инструментарий для оценки степени распаханности участков ЛПХ, который может дополнить систему мониторинга динамики землепользования в сельских территориях.
2. Выполнена апробация данной технологии на выборке участков ЛПХ ряда сел Кытманского района Алтайского края по состоянию на 2024 год.
3. Произвести модификацию алгоритма с учётом фактической представленности разнородных объектов в границах пиксела данных Sentinel-2.
4. Использование алгоритмов сегментации данных сверхвысокого разрешения для автоматической разметки содержания участков ЛПХ.
5. Разработка алгоритмов, позволяющих интегрировать данные кадастровой карты и использование их для обнаружения границ участков ЛПХ.
6. Привлечение технологии нейронных сетей для автоматической классификации, которые в потенциале должны повысить точность.
7. Оценить точность классификации зданий и выполнить оценку степени застроенности участков ЛПХ.

Спасибо за внимание!