



Структурный анализ сельскохозяйственных угодий и построение модели урожайности кукурузы на основе значений твердости почвы

Колесников А. А., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО СГУГиТ

Яковлев Д. А., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО НГАУ

Пошивайло Я. Г., к.т.н., доцент, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО СГУГиТ

Иванов Н. М., чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, руководитель ФГБУН СФНЦА РАН

;

Белокуриха, 26-29 августа 2025

Актуальность

Одной из важнейших сфер применения **геопространственных технологий и технологий искусственного интеллекта** является **точное земледелие**, которое подразумевает индивидуальный подход к отдельным участкам поля, что способствует повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

Выбор сельскохозяйственной культуры для исследования обусловлен тем фактом, что кукуруза является достаточно перспективной и **высокомаржинальной** культурой.

С 2001 по 2024 год отмечается увеличение посевных площадей кукурузы **в 4 раза**, что говорит о перспективах развития данного направления растениеводства.



Актуальность

Процесс роста и развития растений кукурузы во многом зависит от **физических свойств почвы**.

В рамках реализации элементов технологии точного земледелия по значениям твердости почвы был выполнен **геоинформационный анализ** с целью выявления зон почвенных неоднородностей.

На основании результатов зонирования осуществлялся выбор **наиболее эффективных методов машинного обучения** для прогнозирования урожайности зеленой массы кукурузы в зависимости от твёрдости почвы.



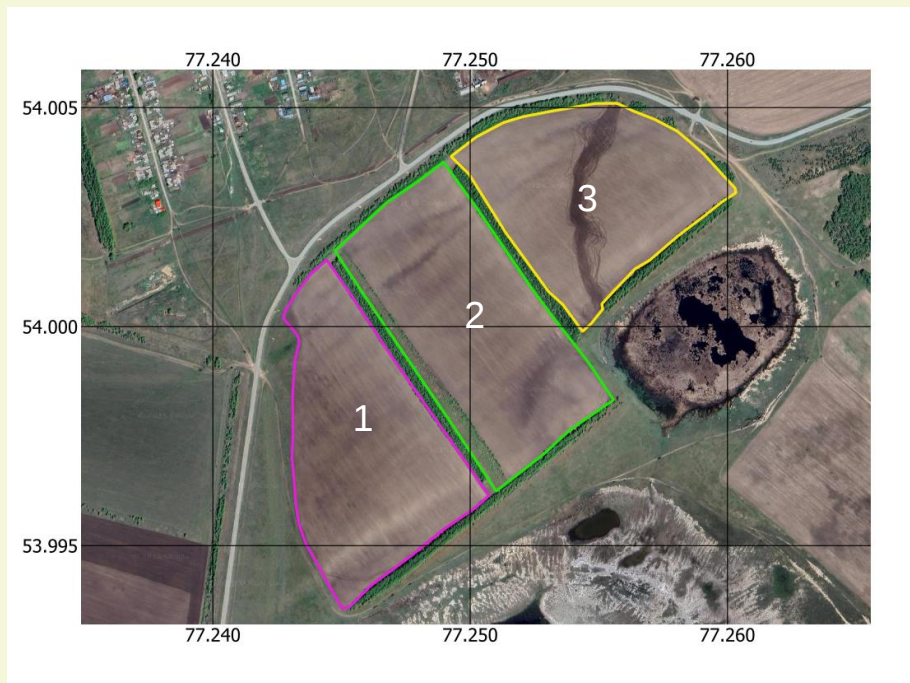
Условия эксперимента

- Гибрид кукурузы – Росс 130 МВ
- Удобрения – при посадке не вносились
- Нормы высева – 70000 шт/га
- Междурядья – 70 см
- Посевной агрегат – John Deere 6150М + John Deere 1740
- Глубина посева – 6 см.
- Предшественник – кукуруза
- Осенняя подготовка – плоскорезная обработка агрегатом Кировец К742М + ПГ-5 на глубину 30 см
- Весенняя подготовка – культивация агрегатом Кировец К742М + Solar Fields KC-12

Условия эксперимента

Исследования по определению влияния твёрдости почвы на урожайность зеленой массы кукурузы проводились в **АО «Ивановское», с. Ивановка, Баганского района, Новосибирской области.**

Для проведения исследования были выбраны три смежных поля 1,2,3 (54.000709, 77.249696) площадью 25, 24 и 22 га), почва опытных полей – чернозёмы южные среднемошные, средне-эродированные с содержанием гумуса в верхнем слое 3 %, азота 13,8 кг/га, фосфора 140 кг/га, калия 200 кг/га.



Измерения

Твердость почвы определялась на глубине **0-60 см** при помощи пенетromетра **SmartSoil S-60** посредством проколов почвы, с регистрацией измерений в кПа через каждый сантиметр глубины.

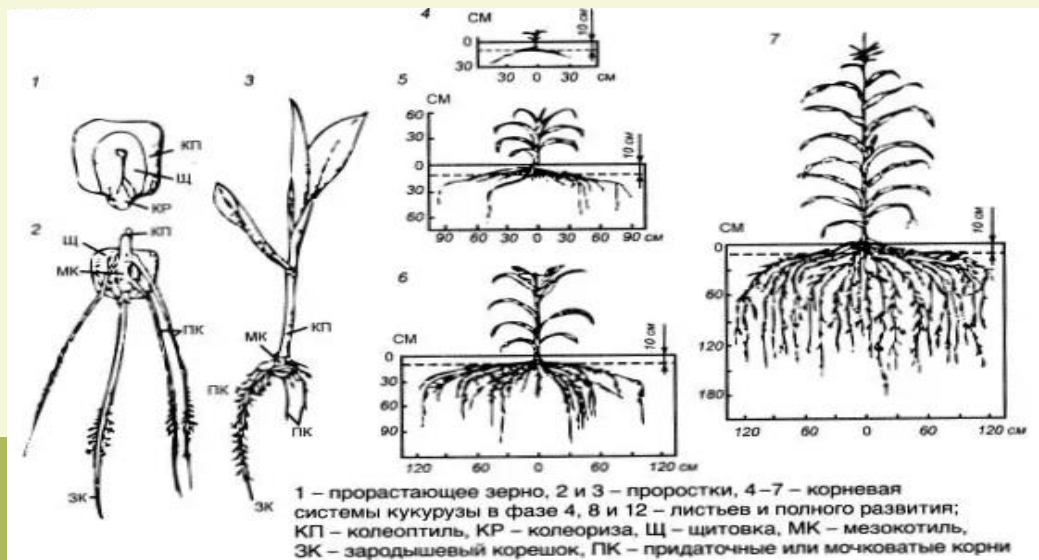


Схема исследования. Данные

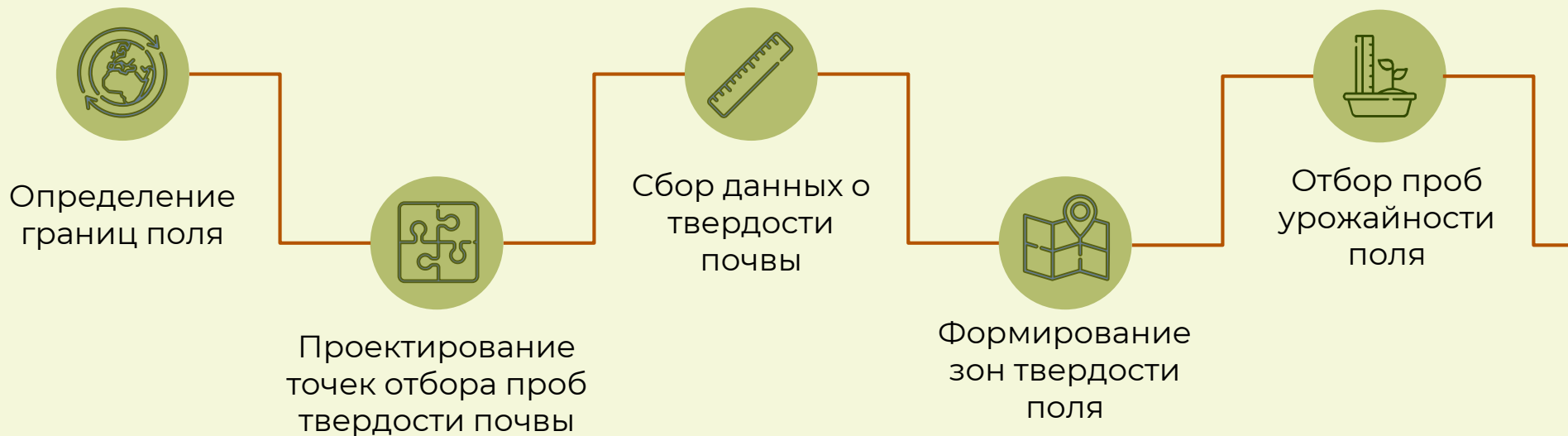


График измерений

№	Дата	Операция	Состав агрегата	Глубина обработки, см
1	15.10.2023 г.	Глубокорыхление	K742M + ПГ-5	30
2	21.04.2024 г.	Измерение твёрдости		
3	22.04.2024 г.	Боронование	K742M + БЗТ-22	4
4	05.06.2024 г.	Культивация	K742M+ Solar Fields KC-12	6
5		Посев	John Deere 6150M + John Deere 1740	6
6	09.06.2024 г.	Измерение твёрдости		
7	25.09.2024 г.	Измерение твёрдости		
8	27.09.2024 г.	Уборка урожая	RSM F2650	-
9	28.09.2024 г.	Измерение твёрдости		
10	27.10.2024 г.	Глубокорыхление	K742M + ПГП-7	25

Зонирование

Среднее значение



1346 - 1870 кПа
1871 - 1975 кПа
1976 - 2539 кПа

Среднее значение по 6-30



500 - 1170 кПа
1171 - 1380 кПа
1381 - 1846 кПа

Среднее значение по 30-60



1865 - 2608 кПа
2607 - 2860 кПа
2861 - 3245 кПа

Урожайность



1346 - 1870 кПа
1871 - 1975 кПа
1976 - 2539 кПа



500 - 1170 кПа
1171 - 1380 кПа
1381 - 1846 кПа



1865 - 2608 кПа
2607 - 2860 кПа
2861 - 3245 кПа

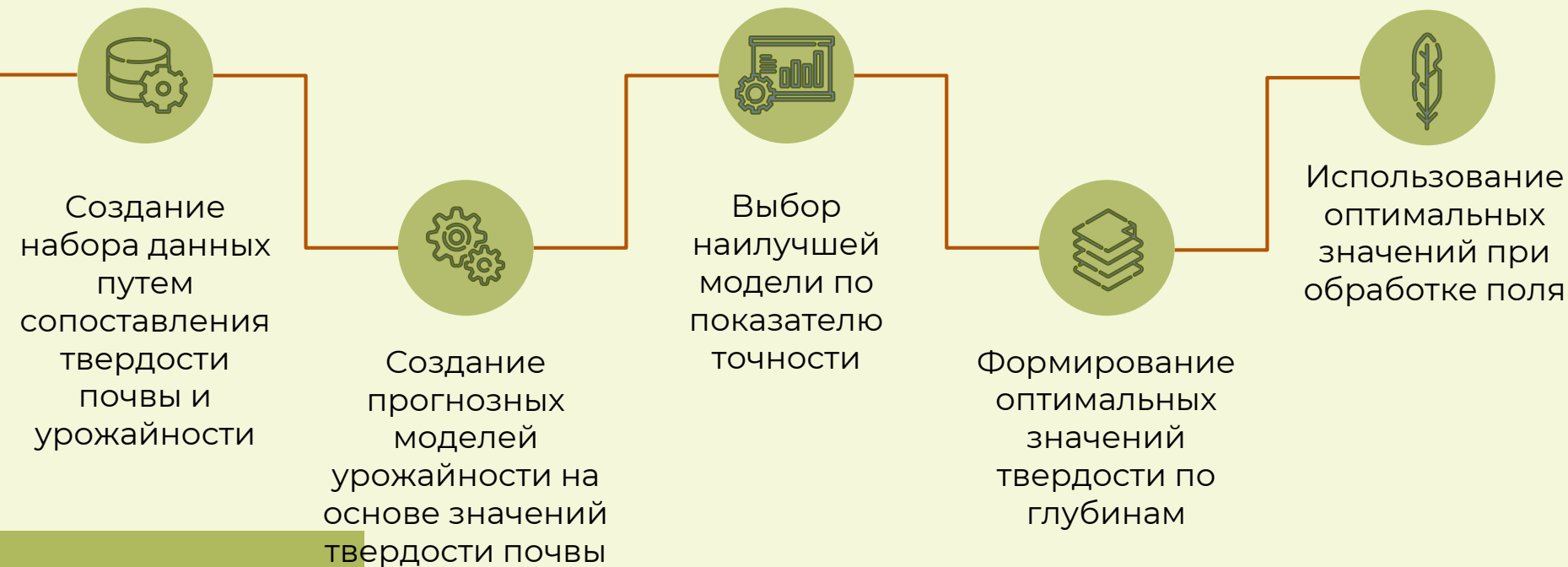
Схема исследования. Моделирование

Основная идея методики заключается в сравнительном анализе результатов регрессионных моделей, получаемых на основе инструментов машинного обучения, при расчете зависимости определенных показателей твёрдости почвы и зелёной массы кукурузы. Изменяемыми параметрами в данном случае будут выступать алгоритмы машинного обучения и их гиперпараметры, комбинации показателей твёрдости почвы. Для оценки точности использовался показатель средней абсолютной ошибки.

Для анализа были выбраны следующие алгоритмы машинного обучения и их гиперпараметры:

- линейная регрессия с регуляризатором Lasso (Lasso) – альфа, параметр отсева;
- машина опорных векторов для регрессии (SVR) – ядро, C, гамма, эпсилон;
- метод ближайших соседей (KNN) – количество соседей, способ расчета весов;
- дерево решений (DT) – глубина;
- метод случайного леса (RF) – число деревьев, глубина, критерий разделения;
- градиентный бустинг в реализации CatBoost (CB) – функция потерь, глубина, темп обучения;
- полносвязная нейронная сеть из 4-х слоев (NN) – функция потерь, оптимизатор, темп обучения, число эпох, число объектов в блоке обучения.

Схема исследования. Моделирование



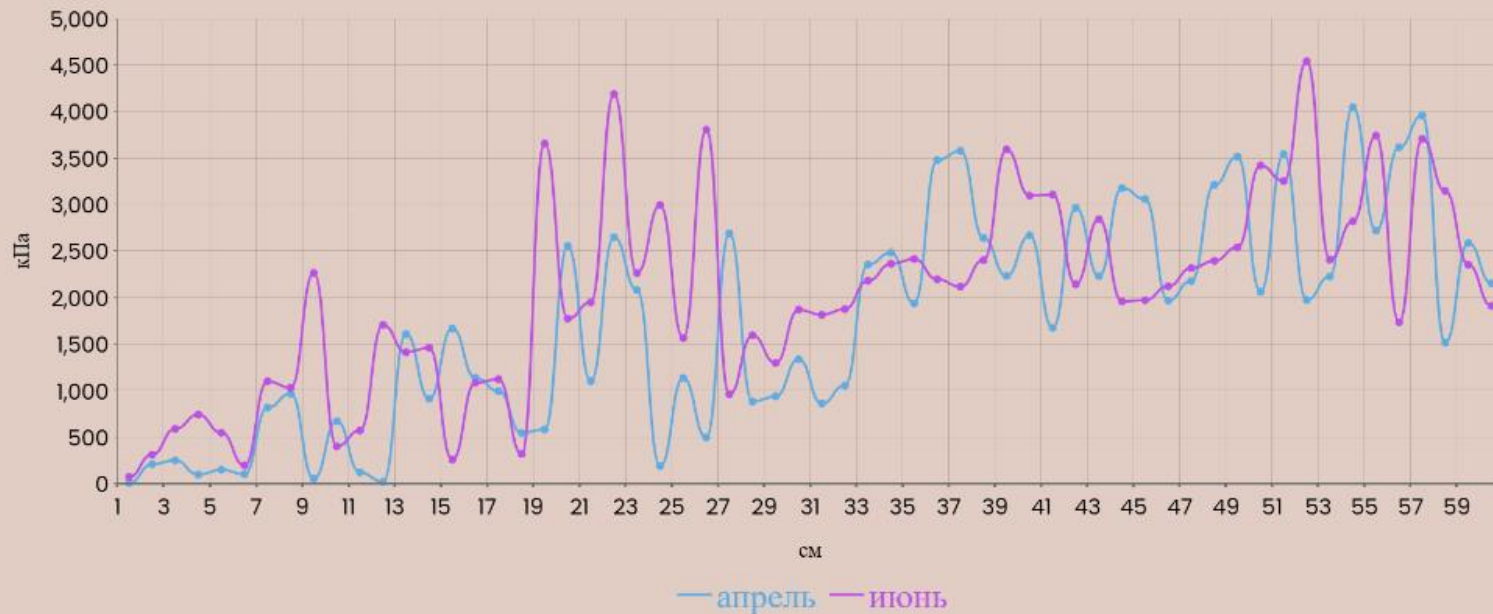
Комбинации показателей твёрдости почвы

Номер комбинации	Описание комбинации
1	60 исходных параметров
2	60 исходных параметров и средние значения по всем 60, по параметрам с 6 по 30 и с 30 по 60
3	Только средние значения по всем 60, по параметрам с 6 по 30 и с 30 по 60
4	Параметры с 6 по 30
5	Параметры с 30 по 60
6	5 главных компонент из 60 исходных параметров, полученных методом PCA
7	Объединенный набор для апреля и июня
8	5 главных компонент из 120 исходных параметров для апреля и июня, полученных методом PCA

Результаты оценки прогноза урожайности

Номер комбинации / Алгоритм	Lasso	SVR	KNN	Decision Tree	Random Forest	CatBoost	Fully Connected Neural Network
апрель							
1	184,8	38,7	63,6	59,4	55,2	52,2	37,5
2	225,4	52,5	72,5	75,4	65,8	59,2	83,2
3	97,0	88,2	82,9	85,4	86,5	90,8	129,1
4	50,5	54,9	77,8	95,4	56,7	56,3	55,5
5	191,2	62,5	81,1	75,4	73,4	74,4	92,7
6	101,5	99,9	95,9	117,1	85,3	115,5	272,2
июнь							
1	212,7	105,4	108,4	93,7	96,0	104,8	95,8
2	220,7	66,4	79,8	164,6	82,2	86,9	168,7
3	48,0	45,9	109,0	128,6	116,9	129,6	43,5
4	35,4	46,0	55,5	34,6	55,9	63,2	43,6
5	129,3	54,4	56,4	88,0	65,3	58,3	51,5
6	43,9	38,6	51,5	54,6	29,0	28,0	206,1
апрель-июнь							
7	156,4	62,1	66,8	87,7	61,6	72,8	74,6
8	59,9	51,1	67,0	101,4	73,1	166,0	65,1

Оптимальная твердость почвы



Выводы

1. Большая абсолютная прогнозная точность урожайности наблюдается по измерениям, выполненным в июне.

2. Наибольшую стабильность результатов показали алгоритмы RF и knn, что соотносится с логикой их работы и другими исследованиями, подтверждающими устойчивость.

3. Совмещение измерений за апрель и июнь не оказало влияния на точность. Требуется включение в исследование измерений будущих сезонов для верификации полученных результатов и корректировки параметров построенных моделей. Данный вариант демонстрирует стабильные результаты в разных вариантах обработки.

4. Среди проанализированных комбинаций представления данных наибольшую точность показала комбинация 4, которая наилучшим образом учитывает особенности корневой системы.



Спасибо за внимание!

Структурный анализ сельскохозяйственных
угодий и построение модели урожайности
кукурузы на основе значений твердости почвы

Яковлев Д. А., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО НГАУ

Пошивайло Я. Г., к.т.н., доцент, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО СГУГиТ

Иванов Н. М., чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор, руководитель ФГБУН
СФНЦА РАН

Колесников А. А., к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО СГУГиТ;

