

Саудовская Аравия — на датчиках почвы и спутниковых снимках. Все страны сталкиваются с проблемами инфраструктуры и стоимости технологий, решение которых требует государственных субсидий и международного сотрудничества. Цифровые методы повышают устойчивость аграрного производства, уменьшая потери урожая и улучшая продуктивность. Важно развивать национальные программы поддержки, улучшать доступность финансирования и повышать квалификацию кадров. Будущие исследования должны сосредоточиться на интеграции технологий и международной кооперации.

Список литературы

1. Абрашкина, Е. Д. Анализ цифровых технологий в сельском хозяйстве, включая российский опыт / Е. Д. Абрашкина // Вестник Россельхозакадемии. — 2022. — № 3. — С. 15—21.
2. Парамонов, П. Ф. Личные подсобные хозяйства населения : монография / П. Ф. Парамонов, И. В. Ворошилова, Д. К. Иваницкий. — Москва : Инфра-М, 2023. — 216 с.
3. Вилданов, Т. Р. Рейтинговая оценка сельскохозяйственных товаропроизводителей центральной зоны Краснодарского края / Т. Р. Вилданов, Р. Т. Шагаров, В. С. Мышляков, Э. И. Мухаметзянова, А. Д. Дубровина // Экономика и управление. — 2024. — № 2. — С. 45—53.
4. Кувшинов, Н. М. Земледелие с основами почвоведения : учебник / Н. М. Кувшинов. — Москва : Агромир, 2023. — 320 с.
5. Светлов, Н. М. Адаптация к изменению климата : учебное пособие / Н. М. Светлов, С. О. Сиптиц, И. А. Романенко, Н. Е. Евдокимова. — Краснодар : Кубанский гос. аграрный ун-т, 2024. — 192 с.

АКТУАЛИЗАЦИЯ ПОЧВЕННЫХ КАРТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Крючков Марк Александрович, студент 4 курса Института агrobiотехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, mark.rabota2000@yandex.ru

(Научный руководитель – **Минаев Николай Викторович**, к.б.н., доцент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, soillab@rgau-msha.ru)

Аннотация: Представлены результаты исследования по актуализации исторической почвенной карты масштаба 1:25 000 для земель сельскохозяйственного предприятия в Аткарском районе Саратовской области. Методика основана на интеграции данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (Sentinel-2), производных геоморфометрических показателей (цифровая модель рельефа ALOS) и алгоритма машинного обучения Random Forest. Показано, что комплексное использование вегетационного индекса NDVI, композита

открытой поверхности почвы и характеристик рельефа позволяет достичь точности классификации почв до 69%. Разработанный подход демонстрирует потенциал для оперативного и экономически эффективного обновления почвенных карт.

Ключевые слова: цифровая почвенная картография, актуализация карт, дистанционное зондирование, NDVI, открытая поверхность почвы, Random Forest, Саратовская область.

Почвенные карты являются фундаментальным инструментом для управления земельными ресурсами, сельского хозяйства и экологического мониторинга. Однако традиционные методы их создания и обновления, основанные на полевых исследованиях и экспертной оценке, отличаются высокой трудоемкостью, стоимостью и субъективностью [1]. В современных условиях интенсивной антропогенной нагрузки и изменения климата требуется разработка оперативных и экономически эффективных методов актуализации картографических материалов.

Развитие технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и машинного обучения открывает новые возможности для цифровой почвенной картографии (ЦПК). Использование вегетационных индексов, таких как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), и данных об открытой поверхности почвы позволяет выявлять изменения в структуре землепользования и состоянии почвенного покрова [3]. Алгоритмы машинного обучения, в частности Random Forest, доказали свою эффективность для прогнозирования пространственного распределения почвенных свойств и классов [5].

Целью данного исследования являлась разработка и апробация методики актуализации почвенных карт на основе интеграции данных ДЗЗ и геоморфометрических показателей с использованием алгоритма Random Forest.

Материалы и методы

Исследование проводилось на территории сельскохозяйственного производственного кооператива «Колхоз Путь к Коммунизму», расположенного в Аткарском районе Саратовской области. Район находится в зоне обыкновенных черноземов, для которой характерен умеренно-континентальный климат с выраженной аридизацией. Рельеф территории представляет собой пологоволнистую равнину в пределах Приволжской возвышенности.

В качестве исходной картографической основы использовалась почвенная карта масштаба 1:25 000 1980 года выпуска. Для работы применялся следующий программный комплекс:

QGIS – для оцифровки карты и создания векторного слоя почвенных контуров.

SAGA GIS – для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) на основе данных ALOS и расчета производных геоморфометрических показателей

(уклон, экспозиция, горизонтальная и вертикальная кривизна, топографический индекс влажности TWI).

Google Earth Engine (GEE) – для получения и обработки спутниковых данных Sentinel-2. Были рассчитаны многолетние композиты индекса NDVI и открытой поверхности почвы (Bare Soil Composite) за период с 2000 по 2024 гг.

RStudio – для реализации алгоритма Random Forest и оценки точности моделей.

Методика моделирования

Для пространственного прогнозирования был выбран алгоритм Random Forest, обладающий высокой точностью, устойчивостью к переобучению и возможностью оценки важности переменных [4]. Внутри каждого почвенного контура было сгенерировано по 15 случайных точек (всего 2055 точек), которые использовались в качестве опорных для обучения модели.

Было создано и протестировано четыре варианта моделей с разным набором предикторов:

Модель 1: Только геоморфометрические показатели.

Модель 2: Геоморфометрические показатели + спектральные каналы (RGB).

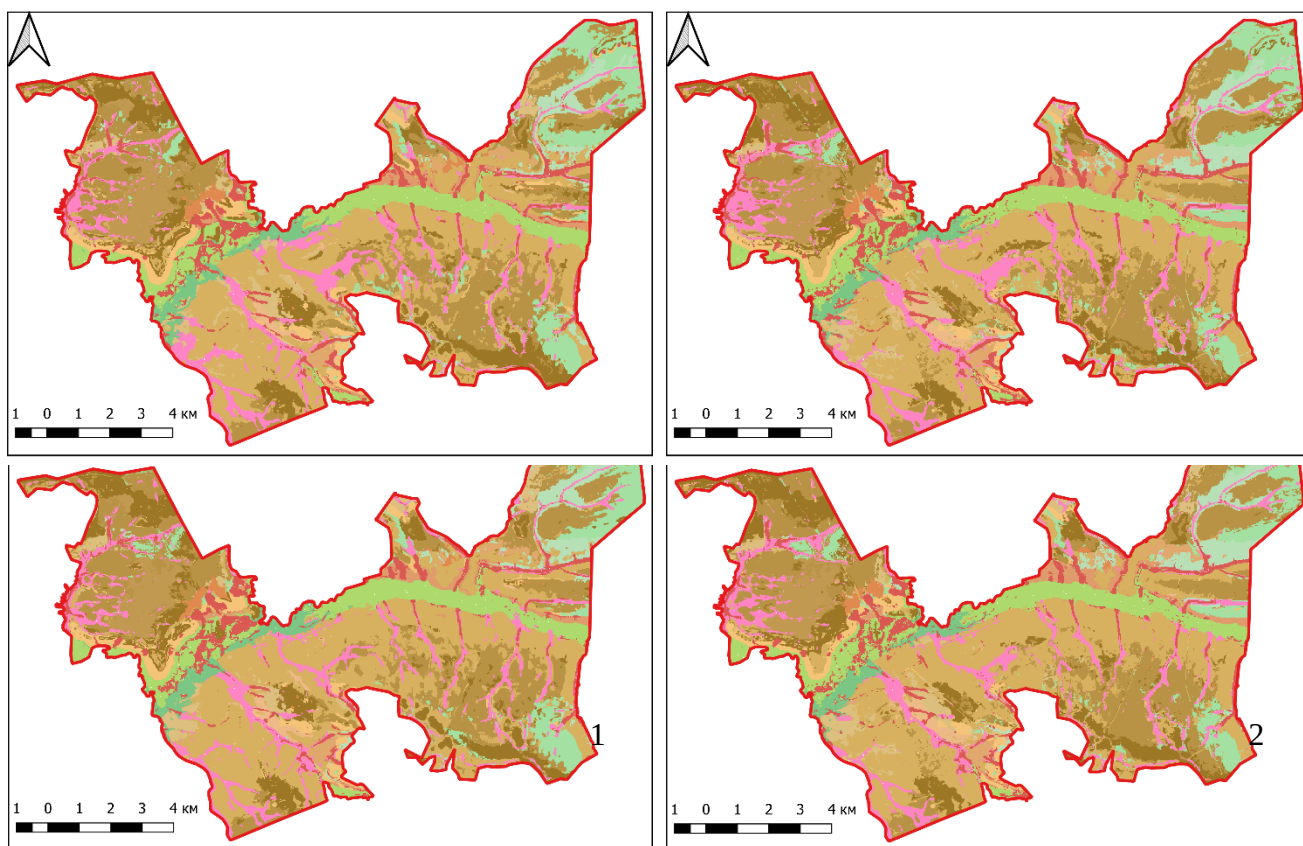
Модель 3: Геоморфометрические показатели + NDVI.

Модель 4: Комбинированная модель (все доступные предикторы).

Данные были разделены на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки. Качество моделей оценивалось по общей точности (Overall Accuracy) и каппа-коэффициенту (Карра).

Результаты

На основе обученных моделей были построены прогнозные почвенные карты (Рисунок 1). Визуальный анализ показал, что модели, использующие только геоморфометрию, воспроизводят общую структуру почвенного покрова, но уступают в детализации моделям, включающим данные ДЗЗ. Добавление спектральной информации позволило более четко выделить границы почвенных контуров, особенно связанные с современным землепользованием и состоянием растительности.



Условные обозначения:

Индексы почв, почвенных
сочетаний и комплексов

Чо1"гД
Чо1"гД
Чо0"сЕ
Чо2"гД!
Чо1"гД!
Чо1"гД!@'
Чо1"гД!
Чо1"гД!
Чо0"тЭп/Д!@"
Чо0"сЭ!
Чо0"лЕ!\$@'

Чо0"сЕ!!
Чо0"лЭп/Е!!@'#
Чо0"уЭп/Е!!@'#
Чо2"гЭо!@'#
Чо0"сЭп!@'
Чо0"лЭп!@'#
Чо1"гЭо!!@'#
Чо0"лЭп!!!*@"
Чо1"гД!+Чо0"гД!! (10-25%)
Чо1"гД!+Чо0"гД!! (10-25%)
Чо1"гДс Снч1гДс (10-25%)
Чо1"гДс Снч1гДс (10-25%)
Чо1"гД! Снч1гД (10-25%)

Чо1"сДс! Снч1гДс (10-25%)
Чо0"сЭп!@' Снч1гДс (10-25%)
Чо1"гДс! Снч1гДс (25-50%)
Чо1"сДс!@' Снч1,2гДс (25-50%)
Чо0"сЕ!!@' Снч3гДс@" (25-50%)
Ал1гА
Ал1"ск"гА
Ал2"сА
БигА
Дн
М

4

Рисунок 1. Почвенные карты, полученные разными методами

Таблица 1.

Оценка точности моделей классификации почв

Модель	Набор предикторов	Общая точность, %	Каппа-коэффициент
Модель 1	Геоморфометрия	63	0,59
Модель 2	Геоморфометрия + RGB	66	0,61
Модель 3	Геоморфометрия + NDVI	67	0,61
Модель 4	Все комбинированные показатели	69	0,64

Наивысшую точность (69%) продемонстрировала комбинированная Модель 4, интегрирующая всю доступную информацию о рельефе, растительности и свойствах поверхности почвы. Это согласуется с теоретическими основами ЦПК и подтверждает тезис о том, что комплексное использование разнородных данных позволяет более адекватно отразить сложную пространственную организацию почвенного покрова [2]. Увеличение точности на 6% по сравнению с базовой моделью (только рельеф) является статистически значимым и практически важным.

Анализ важности переменных в Модели 4 показал, что ключевую роль наряду с геоморфометрическими показателями играли индекс NDVI и спектральные характеристики открытой поверхности почвы. Это указывает на то, что современное состояние растительности и спектральные свойства почвенной поверхности несут важную информацию для дифференциации почвенных контуров, которая отсутствовала в исходной карте 1980 года.

Полученная точность в 69% соответствует уровню, характерному для многих исследований в области ЦПК, особенно с учетом сложности почвенного покрова и использования карты среднего масштаба в качестве референсных данных. Основные ошибки классификации были связаны с почвенными комбинациями и комплексами, что ожидаемо из-за их неоднородности.

Заключение

В результате исследования была успешно разработана и апробирована методика актуализации почвенных карт на основе интеграции данных дистанционного зондирования и алгоритмов машинного обучения. Показано, что предложенный подход позволяет оперативно обновлять исторические почвенные карты с минимальными затратами, отражая современное состояние почвенного покрова. Алгоритм Random Forest продемонстрировал высокую эффективность для задач классификации почв, обеспечивая точность до 69% при использовании комплексного набора предикторов. Наилучший результат достигнут при комбинировании геоморфометрических показателей с данными ДЗЗ, что подтверждает преимущество комплексного подхода перед использованием отдельных групп предикторов.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения методики для мониторинга земельных ресурсов и поддержки принятия управленческих решений в агропромышленном комплексе. Перспективными направлениями для дальнейших исследований являются использование гиперспектральной съемки, включение климатических данных и показателей антропогенной нагрузки, а также разработка методов учета временной динамики почвенных характеристик. Проведенное исследование подтверждает перспективность интеграции современных технологий дистанционного зондирования и машинного обучения для решения задач цифровой почвенной картографии.

Список литературы

1. Корнилова А.И., Смирнова М.А., Семенов И.Н. Традиционное и цифровое картографирование почв центральной части национального парка “Смоленское Поозерье” // Почвоведение. - 2025. - №2. - С. 163–175.
2. McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B. On digital soil mapping // Geoderma. – 2003. – Vol. 117. – P. 3-52.
3. Prudnikova E., Savin I. Effect of open soil surface patterns on soil detectability based on optical remote sensing data //Proceedings. – MDPI, 2018. – Т. 2. – №. 7. – С. 357.
4. Rigatti S. J. Random forest //Journal of insurance medicine. – 2017. – Т. 47. – №. 1. – С. 31-39.
5. Zhang G. L. et al. Recent progress and future prospect of digital soil mapping: A review // Journal of integrative agriculture. – 2017. – Т. 16. – №. 12. – С. 2871-2885.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Павлов Максим Григорьевич, студент 1 курса Института агробиотехнологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 21pavlov.maks@gmail.com

(Научный руководитель – **Мартынова Полина Николаевна**, ассистент кафедры почвоведения, геологии и ландшафтоведения, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, lina.martynova25@mail.ru)

Аннотация: В условиях современного сельского хозяйства и ужесточения экологических стандартов разработка интеллектуальных систем управления сельскохозяйственной техникой становится критически важной для перехода к точному земледелию. Научные данные свидетельствуют о потенциальном росте эффективности производства на 20-30% при внедрении таких систем.

Ключевые слова: дифференцировка, карта, плодородие, автоматизация, навигация, экономия