



Научная статья
УДК 631.42+631.471
doi: 10.55186/25876740_2025_68_5_659

ВНУТРИПОЛЕВОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ И ЮЖНЫХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДДЗ

В.Н. Рашкович¹, Д.И. Рухович¹, Д.А. Шаповалов²

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

²Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

Аннотация. В данном исследовании рассматривается возможность создания детальных карт структуры почвенного покрова (СПП) и устойчивой внутриполевого неоднородности (УВН) с использованием принципов расчета коэффициентов мультимедийной линии почвы (МЛП) для систем точного земледелия. В работе применяются различные методы, включая нейросетевую фильтрацию данных дистанционного зондирования, построение карт открытой поверхности почвы (ОПП) на основе спектральной окрестности линии почв, полевые почвенные изыскания, замеры биологической урожайности и лабораторный агрохимический анализ почвенных проб. Объектом исследования являются поля, расположенные на севере Казахстана, характеризующиеся умеренно сухими степными условиями и слабо выраженным рельефом. Основными типами почв в этом регионе являются южные и обыкновенные черноземы, которые обладают различными потенциалами плодородия и условиями почвообразования. Результаты исследования показывают, что карта ОПП, построенная на основе мультимедийных данных дистанционного зондирования, эффективно выявляет неоднородность почвенного покрова. В ходе исследования были выделены два основных типа почв: южные и обыкновенные черноземы. Южные черноземы показали более низкую биологическую урожайность из-за наличия плотных карбонатных горизонтов, в то время как обыкновенные черноземы обладали более высоким потенциалом плодородия и урожайности. Исследование также выявило сильную линейную зависимость ($R^2 = 0,95$) между спектральной отражательной способностью и содержанием органического углерода, что позволяет точно картировать содержание гумуса и типы почв. Практическое применение этих карт в точном земледелии привело к экономическому эффекту в размере примерно 1100 рублей на гектар.

Ключевые слова: открытая поверхность почвы, структура почвенного покрова, точное земледелие, нейросетевая фильтрация снимков

Original article

INTRA-FIELD DIFFERENTIATION OF ORDINARY AND SOUTHERN CHERNOZEMS FOR PRECISION FARMING PURPOSES BASED ON MULTITEMPORAL SERIES OF REMOTE SENSING DATA

V.N. Rashkovich¹, D.I. Rukhovich¹, D.A. Shapovalov²

¹Dokuchaev soil science institute, Moscow, Russia

²State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

Abstract. The study explores the possibility of creating detailed maps of soil cover structure and sustainable intra-field heterogeneity using the principles of calculating coefficients of the multitemporal soil line for precision agriculture systems. The research employs various methods, including neural network filtering of remote sensing data, constructing open soil surface maps based on the spectral vicinity of the soil line, field soil surveys, biological yield measurements, and laboratory agrochemical analysis of soil samples. The study area comprises fields located in northern Kazakhstan, characterized by moderately dry steppe conditions and minimal relief variations. The primary soil types in this region are southern and ordinary chernozems, which exhibit different fertility potentials and soil formation conditions. The results demonstrate that the open soil surface map, derived from multitemporal remote sensing data, effectively highlights soil heterogeneity. Southern chernozems showed lower biological yield due to the presence of dense carbonate horizons, while ordinary chernozems exhibited higher fertility and yield potential. The study also revealed a strong linear relationship ($R^2 = 0.95$) between spectral reflectance and organic carbon content, enabling accurate mapping of humus content and soil types. The practical application of these maps in precision agriculture resulted in an economic benefit of approximately 1100 rubles per hectare.

Keywords: open soil surface, precision planting, soil cover structure, neural-network satellite data filtering

Введение. Структура почвенного покрова (СПП) [1] является одним из сложнейших объектов картографирования [2]. Точное земледелие, развивающееся с 1989 г. [3,4], ставит перед картографированием СПП новые задачи с практической точки зрения. Часто термин СПП в точном земледелии подменяется термином «устойчивая внутриполевая неоднородность» (УВН) [5] или внутрипольная неоднородность (intra-fields, within-fields) [6-8], который стал употребляться именно в связи с точным земледелием и используется по настоящее время [9,10]. СПП, в классическом восприятии, может характеризовать целиком сельскохозяйственное поле. В таком случае будет указан процент различных почвенных разностей, встречающихся на поле. В таком виде карта СПП не пригодна для систем точного земледелия, а скорее является объектом управления на уровне ландшафтно-адаптивного земледелия. СПП в виде УВН — это детальная

карта поля, где каждый элемент СПП выражен в виде объекта карты УВН. Критерием качества картирования СПП в виде карты УВН является возможность построения на ее основе карт заданий точного земледелия. Т.е., возможностью однозначной интерпретации элемента СПП, как объекта управления плодородием (продуктивностью) каждой части сельскохозяйственного поля.

При индикации разных почв и их пространственной неоднородности (СПП) используют как вегетационные индексы, отражающие чаще всего растительный покров [11-14], так и открытую поверхность почвы (ОПП) [15-17]. Картирование СПП и УВН на основе мультимедийных рядов больших данных дистанционного зондирования (БДДЗ) наиболее молодой и весьма перспективный метод [15]. При работе с БДДЗ для изучения СПП необходимо свернуть мультимедийный массив спектральных характеристик в карту одной спектральной характеристики. Одним из

вариантов такого сворачивания является карта коэффициента «С» мультимедийной линии почвы (МЛП) [15]. Отметим, что для построения МЛП используются исключительно спектральные характеристики ОПП.

Цель настоящего исследования заключается в исследовании возможности построения карт СПП и УВН с детальностью систем точного земледелия на основе принципов вычисления коэффициентов МЛП.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели были использованы следующие методы:

1. Нейросетевая фильтрация больших данных дистанционного зондирования земли.
2. Построение карты открытой поверхности почвы ОПП на основе спектральной окрестности линии почв.
3. Полевые почвенные изыскания на основе карт ОПП.

4. Замеры биологической урожайности по зонам неоднородности почвенного плодородия.
5. Лабораторный агрохимический анализ почвенных проб.

Технология расчета открытой поверхности почв основывается на определении спектральной окрестности линии почв путем нахождения и описания области значений отклика почвенного покрова, не перекрытого растительностью, в каналах RED и NIR. Для этого собирается массив данных дистанционного зондирования земли на территорию исследования в период с 1984г по настоящее время и отфильтровывается свер-

точной нейросетью. По оставшимся после фильтрации снимкам строится график спектрального пространства RED-NIR, в котором определяются характеристики области открытой поверхности почв, и, в частности, коэффициент C , являющийся основной для создания карты ОПП. Спектральное пространство RED-NIR показано на рис. 1.

Для расчетов ОПП использовались данные со спутниковых группировок Landsat и Sentinel.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выступают поля крестьянского хозяйства, располагающегося на севере Казахстана, как показано на рис. 2. Территория

представляет собой умеренно сухую степь и относится к Казахстанской провинции в природно-сельскохозяйственном районировании. Рельеф территории крайне слабо выражен, глобально является плоской равниной с небольшими превышениями.

Зональной почвой на территории исследования является южный чернозем, однако встречаются также обыкновенные черноземы, темно-каштановые почвы и почвы лугово-черноземного ряда. Все встречаемые почвы территории имеют различные условия почвообразования, а следовательно, и различный потенциал

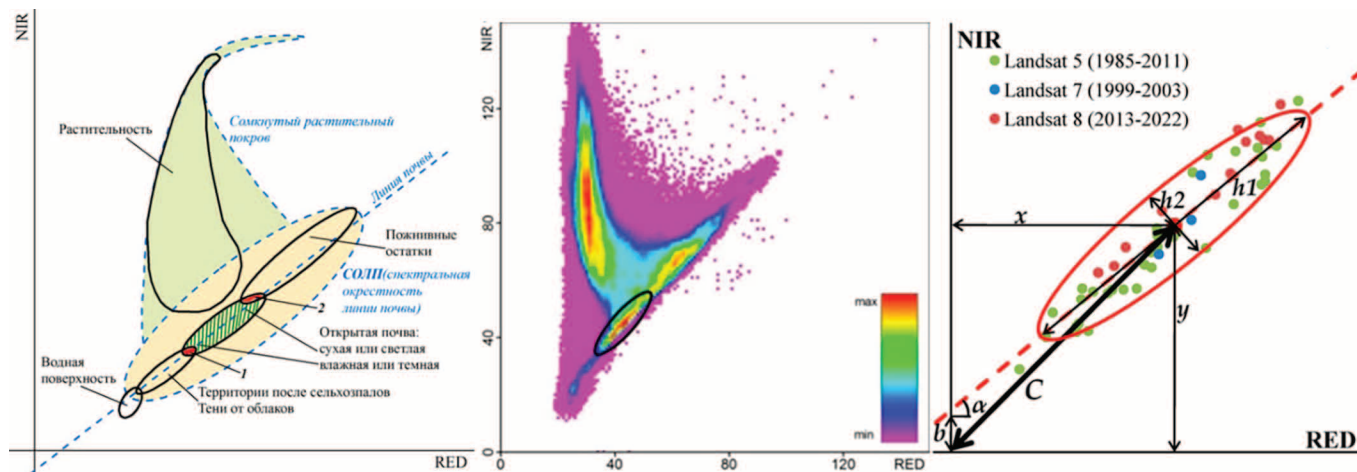


Рисунок 1. Спектральное пространство RED-NIR
Figure 1. RED-NIR spectral space



Рисунок 2. Расположение объекта исследований
Figure 2. Location of the study area

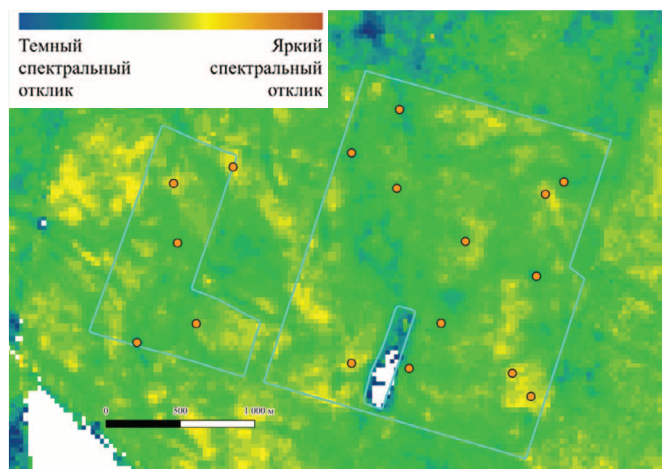


Рисунок 3. Карта открытой поверхности почвы
Figure 3. Open soil surface map

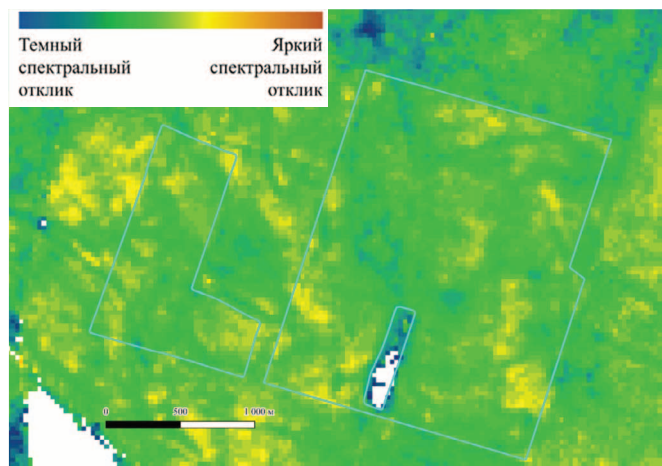


Рисунок 4. Карта заложения почвенных разрезов
Figure 4. Soil sampling map



плодородия, который является ключом к разработке системы эффективного землепользования в виде точного земледелия.

Результаты. Для определения неоднородности почвенного покрова была использована технология построения открытой поверхности почвы на основе мультивременной линии почвы и спектральной окрестности линии почв [15]. Построенная карта ОПП представлена на рис. 3. Карта ОПП раскрашена в сине-зелено-желто-коричневом градиенте, по нарастанию спектральной отражательной способности. Отражательная способность почв связана в основном с небольшим рядом параметров, таких как: гумусированность, влажность, наличие карбонатов, легкорастворимых солей и опесчаненность. Следовательно, проведя почвенно-ландшафтное обследование территории мы можем понять какие факторы, влияющие на спектральную отражательную способность почв, присутствуют на объекте исследования, а какие нет. Аналогично можно понять, насколько существенно каждый из присутствующих факторов изменяет отражательную способность. Таким образом имея карту ОПП и результаты наземной рекогносцировки мы можем создать модель зависимости ОПП от почвенных разностей и на основе нее предположить, где какая почва должна находиться на местности вне точек обследования.

Заложение точек апробирования территории проводилось вручную с целью покрытия всего диапазона значений карты ОПП разрезами для установления конкретной почвенной разности при каждом уникальном значении карты ОПП. Таким образом, на рассматриваемой территории площадью в 600 гектар было заложено 17 почвенных разрезов. Из каждого разреза были отобраны образцы почвы на агрохимический анализ, который оценивал содержание органического углерода, реакцию среды, содержание карбонатов и NPK в каждой почве. Полученные агрохимические данные затем использовались для поиска статистически значимых взаимосвязей со значениями карты ОПП. Рис. 4 иллюстрирует массив заложённых разрезов.

По результатам почвенного обследования было выделено два основных типа почв, доминирующих на исследуемой территории — южные и обыкновенные черноземы, их профили представлены на рис. 5. Обыкновенные черноземы отличались большей мощностью гумусового горизонта, пониженным уровнем вскипания от HCl и наличием карбонатов в виде псевдомиелия. Южные черноземы в свою очередь имели обилие белоглазки в нижней части гумусового горизонта, меньшую мощность горизонта A и вскипание в верхней части гумусового горизонта, зачастую даже с поверхности.



Рисунок 5. Почвенные разности на территории обследования
Figure 5. Soil differences on the study site

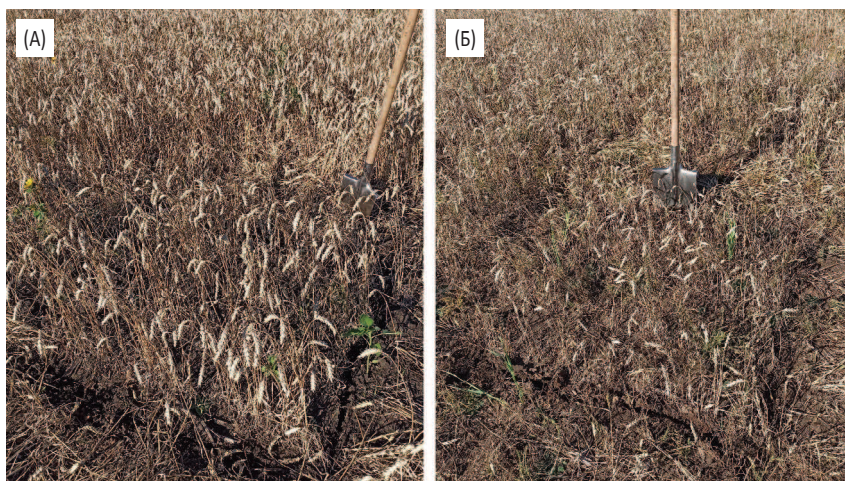


Рисунок 6. Урожайность пшеницы на различных типах почв
Figure 6. Wheat yield difference on different soil types

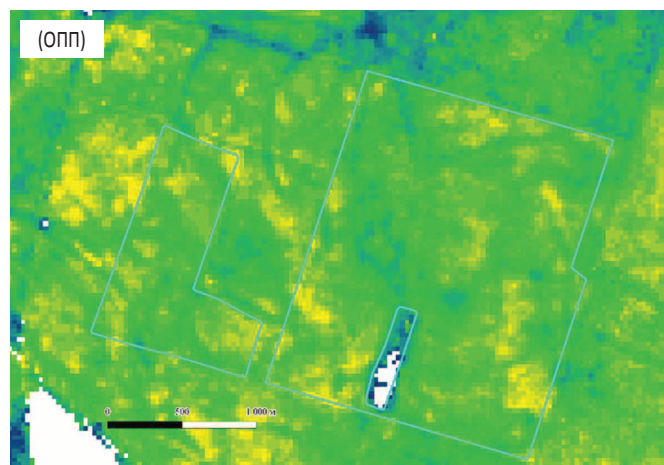
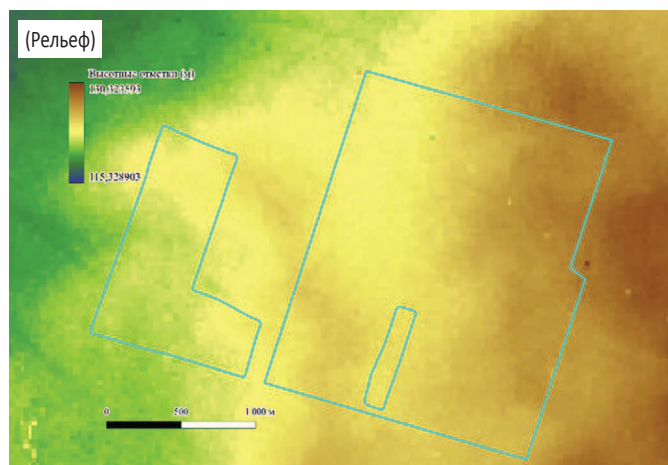


Рисунок 7. Сравнение информативности ЦМР Copernicus и ОПП
Figure 7. Comparing the informativeness of Copernicus DEM and OSS



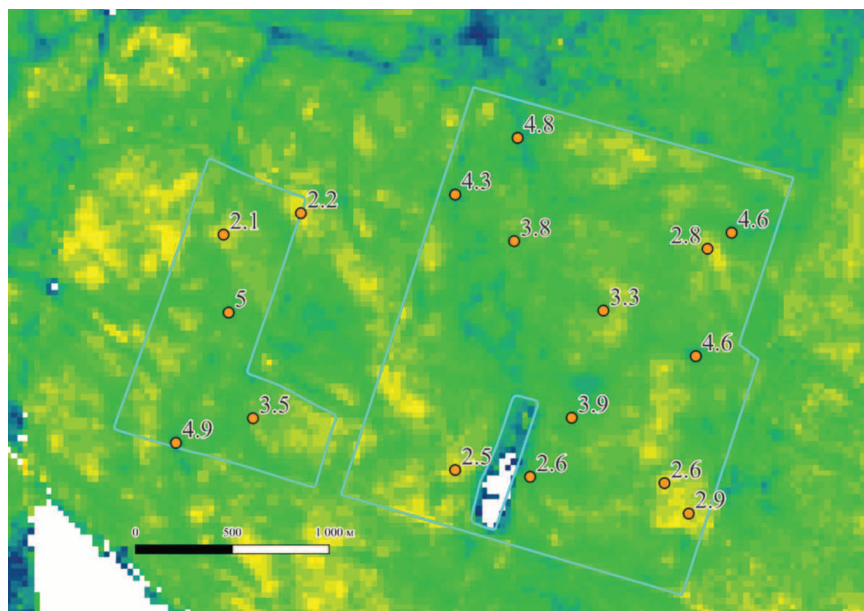


Рисунок 8. Содержание органического углерода в точках апробации
Figure 8. Organic carbon content at test points

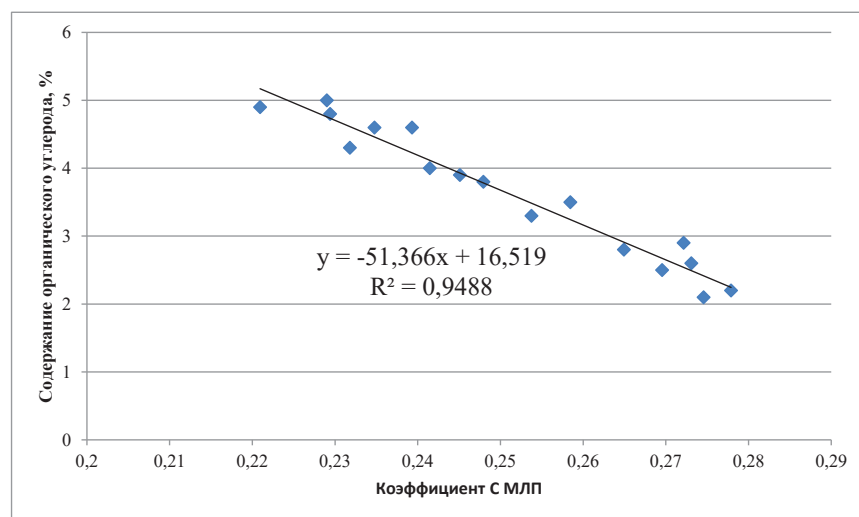


Рисунок 9. График зависимости спектрального отклика от содержания органического углерода
Figure 9. Graph of the dependence of spectral response on organic carbon content

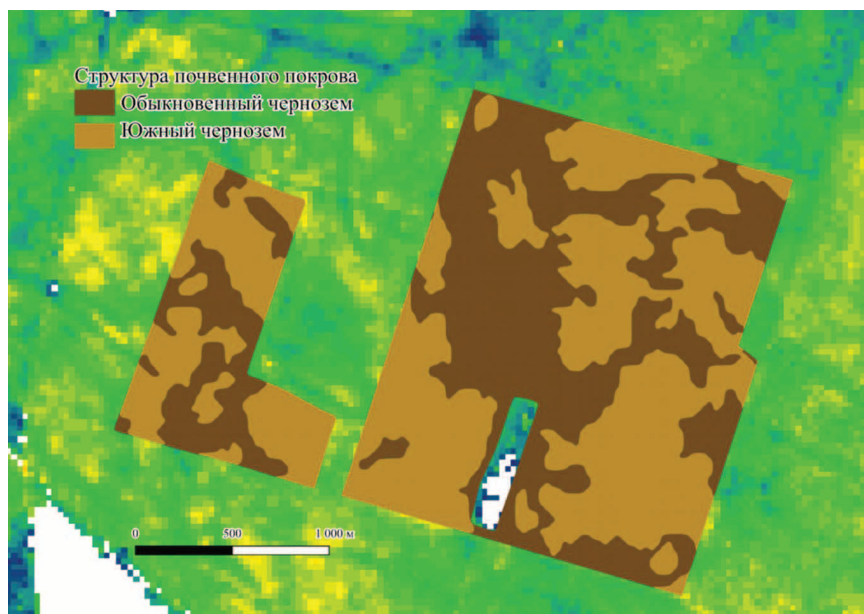


Рисунок 10. Карта структуры почвенного покрова территории обследования
Figure 10. Soil heterogeneity map of the study site

Наличие белоглазки в профиле южных черноземов является индикатором высокой плотности, мы установили, что плотность карбонатного горизонта была тем выше, чем обильнее проявлялись карбонатные новообразования. Нахождение такого плотного горизонта в корнеобитаемом слое, разумеется, угнетает развитие растений и оказывает негативный эффект на потенциале плодородия почв, в то время как обыкновенные черноземы лишены этой проблемы, в них плотных горизонтов, в верхнем метре не наблюдалось.

Одновременно с проведением почвенного обследования была также замерена биологическая урожайность пшеницы на исследуемых полях. Рисунок 6 наглядно показывает разницу урожайности, которая оказалась почти 3-х кратной — от 9,6ц/га на южных черноземах (Б) до 26,3ц/га на обыкновенных(А).

Обсуждение. В условиях умеренно засушливых степей, и, в частности, территории исследования, влага играет ключевую роль как в процессах почвообразования, так и в сельскохозяйственной деятельности. Даже небольшие неровности рельефа имеют огромное значение в перераспределении влаги по поверхности почв, а следовательно, и оказывают существенное влияние на формирование итогового почвенного профиля. Таким образом возникает вопрос использования открытых данных цифровых моделей рельефа для картирования структур почвенного покрова, однако разрешение в 30м/пиксель (лучшее пространственное разрешение открытых данных) является недостаточным, и не позволяет оценить фактическое состояние почвенного покрова на местности, как показано на рисунке 7(А). Мы видим, что рельеф имеет некоторую «ступенчатость» в заданном масштабе, но не видим явного выделения отрицательных форм рельефа, которые могли бы являться аккумуляторами влаги. Таким образом становится ясно преимущество технологии картирования СПП с помощью мультитременной линии почв и ОПП (Рис.7 (Б)). Карта ОПП позволяет выделить области отличных друг от друга почвенных разностей.

Содержание органического углерода, показанное на рис. 8, является диагностическим признаком, который позволяет в условиях объекта исследования достоверно отличать почвы друг от друга. Если построить график зависимости интенсивности спектрального отклика от содержания органического углерода (рис. 9), то мы увидим простую линейную зависимость, где $R^2 = 0.95$, что значит возможность картировать содержание гумуса в верхнем слое почвы, а следовательно, и тип почвы, с точностью в 95%.

Основываясь на полученных данных, мы теперь можем выделить два основных типа почв на исследованных полях, как показано на рис. 10. С точки зрения практического применения такая карты является крайне полезной для составления и имплементации систем точного земледелия, так как она напрямую позволяет нам использовать почвенные разности для повышения эффективности землепользования путем регулирования питания растений дифференцированным внесением удобрений.

Полученные карты неоднородности почвенного покрова были использованы в качестве основы для составления предписаний для техники, которая дифференцированно вносила удобрения. Экономический эффект от применения таких карт составил примерно 1100 рублей с гектара в пересчете на все поле. Перераспределение удобрений по полю с сохранением валового количества внесенных удобрений позволило не снизить урожайность пшеницы на южных черноземах и повысить ее на обыкновенных черноземах.



Технология картографирования структур почвенного покрова, однако, имеет несколько ограничений. Первое и самое важное среди них — необходимость проведения наземных исследований. Не имея фактического понимания состояния почвенного покрова на исследуемой территории, невозможно достоверно составлять карты СПП на основе ОПП. Со временем, разумеется, когда будет накоплен достаточно большой массив геопривязанных почвенных данных, эта проблема исчезнет, но потребуются большие трудозатраты и финансовые вложения. Второе ограничение технологии вытекает из первого — на сегодняшний день невозможно достоверно сказать какие факторы, влияющие на спектральную отражательную способность, мы видим на карте ОПП до проведения обследования, а следовательно, невозможно построить гипотезу неоднородности почвенного покрова до фактического проведения наземных исследований. Третье ограничение — это необходимая цикличность при применении технологии — после проведения первичного обследования необходимо сопоставить найденные факторы с картой ОПП, построить гипотезу и экстраполировать гипотезу на окружающие почвы с целью проверки ее на соседствующих почвенных разностях, т.е. провести валидацию гипотезы и метода.

Заключение. Неоднородность почвенного покрова является одним из ключевых факторов в имплементации технологий точного земледелия. Разные потенциалы плодородия почв влекут за собой неоднородность в состоянии и урожайности сельскохозяйственных культур, которая не может быть выровнена или как-либо использована традиционными методами земледелия.

Картирование структур почвенного покрова с помощью технологии ОПП показало высокую достоверность в условиях северного Казахстана. R^2 зависимости основного диагностического признака почв в регионе составило 0.95, что является крайне высоким показателем метода определения неоднородности почвенного покрова с помощью данных ДДЗ.

Применение полученных данных на практике показало стабильный экономический эффект. Обнаруженные зависимости значений ОПП от почвенного покрова позволяют масштабировать применение технологии на всю территорию хозяйства без лишних трудозатрат.

Список источников

1. Fridland V.M. Structure of the soil mantle // *Geoderma*. 1974. Vol. 12, № 1-2. P. 35-41.
2. Rukhovich D.I. et al. Mapping of Agate-like Soil Cover Structures Based on a Multitemporal Soil Line Using Neural Network Filtering of Remote Sensing Data // *Geosciences* (Basel). 2025. Vol. 15, № 1. P. 32.

Информация об авторах:

Рашкович Василий Николаевич, аспирант, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7541-5671>, vasily.rashkovich@gmail.com

Рухович Дмитрий Иосифович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией почвенной информатики, ведущий научный сотрудник, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8002-0698>, landmap@yandex.ru

Шаповалов Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры высшей математики, физики и информатики, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru

Information about the authors:

Vasily N. Rashkovich, postgraduate student, Dokuchaev soil science institute, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7541-5671>, vasily.rashkovich@gmail.com

Dmitry I. Rukhovich, head of the laboratory of soil informatics, leading researcher, Dokuchaev soil science institute, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8002-0698>, landmap@yandex.ru

Dmitry A. Shapovalov, doctor of technical sciences, professor, State University of Land Use Planning, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8268-911X>, shapoval_ecology@mail.ru

3. Haneklaus S, Lilienthal H, Schnug E. 25 years Precision Agriculture in Germany — a retrospective // 13th International Conference on Precision Agriculture. St. Louis, Missouri, USA, 2016.

4. Mulla D., Khosla R. Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming. 2015. P. 1-36.

5. Куляница А.Л. и др. Анализ информативности методов обработки больших спутниковых данных систем точного земледелия при коррекции крупномасштабных почвенных карт // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1460-1477.

6. Белик А.В. Внутрипольное варьирование плодородия лесостепных черноземов ЦЧО и урожайность сельскохозяйственных культур: автореферат Дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. Воронеж, 2008.

7. Белоусов А.А., Белоусова Е.Н. Влияние внутрипольной неоднородности почвенного плодородия на выбор элементов методики полевого опыта // *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 81. С. 55-62.

8. Якушева О.И. Влияние внутрипольной почвенной неоднородности и уровня интенсификации агротехнологий на урожайность яровой пшеницы: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. с.-х. наук. СПб, 2013.

9. Yang C., Anderson G.L. Determining within-field management zones for grain sorghum using aerial videography // 26th International Symposium on Remote Sensing of Environment. Vancouver, BC, 1996. P. 606-611.

10. Ziliani M.G. et al. Intra-field crop yield variability by assimilating CubeSat LAI in the APSIM crop model // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2022. Vol. XLIII-B3-2022. P. 1045-1052.

11. Iwahashi Y. et al. Quantification of Changes in Rice Production for 2003-2019 with MODIS LAI Data in Pursat Province, Cambodia // *Remote Sens* (Basel). 2021. Vol. 13, № 10. P. 1971.

12. Qi G. et al. Soil Salinity Inversion in Coastal Corn Planting Areas by the Satellite-UAV-Ground Integration Approach // *Remote Sens* (Basel). 2021. Vol. 13, № 16. P. 3100.

13. Romano E. et al. Methodology for the Definition of Durum Wheat Yield Homogeneous Zones by Using Satellite Spectral Indices // *Remote Sens* (Basel). 2021. Vol. 13, № 11. P. 2036.

14. Zhang Y. et al. Assimilation of Wheat and Soil States into the APSIM-Wheat Crop Model: A Case Study // *Remote Sens* (Basel). 2021. Vol. 14, № 1. P. 65.

15. Rukhovich D.I. et al. Recognition of the Bare Soil Using Deep Machine Learning Methods to Create Maps of Arable Soil Degradation Based on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Data // *Remote Sens* (Basel). 2022. Vol. 14, № 9. P. 2224.

16. Королева П.В. и др. Местоположение открытой поверхности почвы и линии почвы в спектральном пространстве RED-NIR // *Почвоведение*. 2017. № 12. P. 1435-1446.

17. Gallo B.C. et al. Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology // *Remote Sens* (Basel). 2018. Vol. 10, № 10. P. 1571.

References

1. Fridland V.M. (1974). Structure of the soil mantle. *Geoderma*, vol. 12, no. 1-2, pp. 35-41.
2. Rukhovich D.I. et al. (2025). Mapping of Agate-like Soil Cover Structures Based on a Multitemporal Soil Line Using Neural Network Filtering of Remote Sensing Data. *Geosciences* (Basel), vol. 15, no. 1, P. 32.

3. Haneklaus S, Lilienthal H, Schnug E. (2016). 25 years Precision Agriculture in Germany — a retrospective. 13th International Conference on Precision Agriculture. St. Louis, Missouri, USA.

4. Mulla D., Khosla R. (2015). Historical Evolution and Recent Advances in Precision Farming, pp. 1-36.

5. Kulyanitsa A.L. i dr. (2020). Analiz informativnosti metodov obrabotki bol'shikh sputnikovyykh dannykh sistem tochnogo zemledeliya pri korrektsii krupnomasshtabnykh pochvennykh kart [Analysis of informativeness of big satellite and precision farming data processing methods for correction of large-scale soil maps]. *Pochvovedenie*, no. 12, pp. 1460-1477.

6. Belik A.V. (2008). Vnutripol'noe var'irovanie plodородiya lesostepnykh chernozemov TSCHO i urozhainost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Intra-Field Variation in the Fertility of Forest-Steppe Chernozems of the Central Chernozem Region and the Yield of Agricultural Crops], *avtoreferat diss. na soisk. uch. st. kand. biol. nauk, Voronezh*.

7. Belousov A.A., Belousova E.N. (2013). Vliyaniye vnutripolevoi neodnorodnosti pochvennogo plodородiya na vybor ehlementov metodiki polevogo opyta [The influence of intra-field heterogeneity of soil fertility on the choice of elements of the field experiment methodology]. *Vestnik KrasGAU*, no. 81, pp. 55-62.

8. Yakusheva O.I. (2013). Vliyaniye vnutripol'noi neodnorodnosti i urovnya intensifikatsii agrotekhnologii na urozhainost' yarovoi pshenitsy [The Influence of Intra-Field Soil Heterogeneity and the Level of Intensification of Agricultural Technologies on the Yield of Spring Wheat], *diss. na soisk. uch. st. kand. s.-kh. nauk, SPb*.

9. Yang C., Anderson G.L. (1996). Determining within-field management zones for grain sorghum using aerial videography. 26th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vancouver, pp. 606-611.

10. Ziliani M.G. et al. (2022). Intra-field crop yield variability by assimilating CubeSat LAI in the APSIM crop model. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLIII-B3-2022, pp. 1045-1052.

11. Iwahashi Y. et al. (2021). Quantification of Changes in Rice Production for 2003-2019 with MODIS LAI Data in Pursat Province, Cambodia. *Remote Sens* (Basel), vol. 13, no. 10, pp. 1971.

12. Qi G. et al. (2021). Soil Salinity Inversion in Coastal Corn Planting Areas by the Satellite-UAV-Ground Integration Approach. *Remote Sens* (Basel), vol. 13, no. 16, pp. 3100.

13. Romano E. et al. (2021). Methodology for the Definition of Durum Wheat Yield Homogeneous Zones by Using Satellite Spectral Indices. *Remote Sens* (Basel), vol. 13, no. 11, pp. 2036.

14. Zhang Y. et al. (2021). Assimilation of Wheat and Soil States into the APSIM-Wheat Crop Model: A Case Study. *Remote Sens* (Basel), vol. 14, no. 1, pp. 65.

15. Rukhovich D.I. et al. (2022). Recognition of the Bare Soil Using Deep Machine Learning Methods to Create Maps of Arable Soil Degradation Based on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Data. *Remote Sens* (Basel), vol. 14, no. 9, pp. 2224.

16. Koroleva P.V. i dr. (2017). Mestopolozheniye otkrytoi poverkhnosti pochvy i linii pochvy v spektral'nom prostranstve RED-NIR [Open soil surface location in the RED-NIR spectral space]. *Pochvovedenie*, no. 12, pp. 1435-1446.

17. Gallo B.C. et al. (2018). Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology. *Remote Sens* (Basel), vol. 10, no. 10, pp. 1571.

