

- Panasin V.I., Rymarenko D.A., Vihman M.I., CHEchulin D.S. Dejstvie jodnyh mikroudobrenij na urozhaj i kachestvo ozimogo rapsa [The effect of iodine micronutrients on the yield and quality of winter rapeseed] // *Agrohimicheskij vestnik*, 2019. no. 2, pp. 39–41.
- Pivovarov V.F., Nadezhkin S.M. Osnovnye puti sovershenstvovaniya sistem udobreniya v ovoshchevodstve [The main ways to improve fertilizer systems in vegetable growing] // *Plodorodie*, 2016, no. 5 (92), pp. 16–18.
- Pivovarov V.F., Pyshnaya O.N., Gurkina L.K. Ovoshchi – produkty i syr'yo dlya funktsional'nogo pitaniya [Vegetables – products and raw materials for functional nutrition] // *Voprosy pitaniya*, 2017, no. 86(3), pp. 121–127.
- Soldatenko A.V., Borisov V.A. *Ekologicheskoe ovoshchevodstvo* [Ecological vegetable growing]. M.: FGBNU «Federal'nyj nauchnyj centr ovoshchevodstva», 2022. 504 s.
- Soldatenko A.V., Razin A.F., Pivovarov V.F., SHatilov M.V., Ivanova M.I., Rossinskaya O.V., Razin O.A. Ovoshchi v sisteme obespecheniya prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossii [Vegetables in the Russian food security system] // *Ovoshchi Rossii*, 2019, no. 2(46), pp. 9–15.
- Troshina E.A., Platonova N.M., Panfilova E.A. Analiticheskij obzor rezul'tatov monitoringa osnovnyh epidemiologicheskikh harakteristik jododefitsitnyh zabolevanij u naseleniya Rossijskoj Federacii za period 2009–2018 gg. [An analytical review of the results of monitoring the main epidemiological characteristics of iodine deficiency diseases in the population of the Russian Federation for the period 2009–2018] // *Problemy endokrinologii*, 2021, no. 67 (2), pp. 10–19.
- Duborská E., Urik M., Šeda M. Iodine Biofortification of Vegetables Could Improve Iodine Supplementation Status // *Agronomy*. 2020. 10(10). 1574.
- Lawson P.G., Daum D., Czauderna R., Vorsatz C. Factors influencing the efficacy of iodine foliar sprays used for biofortifying butterhead lettuce (*Lactuca sativa*) // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2016. 179. P. 661–669.
- Smolen S, Sady W, Rozek S, Ledwozyw-Smolen I, Strzetelski P. Preliminary evaluation of the influence of iodine and nitrogen fertilization on the effectiveness of iodine biofortification and mineral composition of carrot storage roots // *J. Elem.* 2011. 16(4). P. 613–622.
- Wang L., Zhou X., Fredimoses M., Liao S., Liu Y. Naturally occurring organoiodines // *RSC Adv.* 2014. 4. P. 57350–57376.

УДК 631.95

DOI: 10.25695/AGRPH.2025.02.03

ПЕСТРОТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ И ЕЕ СВЯЗЬ С ПОЧВЕННЫМ ПОКРОВОМ

И. Ю. Савин^{1,2}, Ю. И. Вернюк¹, О. Д. Кучер²

ORCID

Савин И. Ю. [0000-0002-8739-5441](https://orcid.org/0000-0002-8739-5441)Вернюк Ю. И. [0000-0002-3621-8330](https://orcid.org/0000-0002-3621-8330)Кучер О. Д. [0009-0002-9816-7759](https://orcid.org/0009-0002-9816-7759)

¹Почвенный институт имени В. В. Докучаева,
119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2,
e-mail: savin_iyu@esoil.ru;

²Институт экологии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы,
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Поступила в редакцию 25.03.2025, принята в печать 15.05.2025

В статье утверждается, что внедрение современных, локально-адаптированных технологий земледелия требует информации о пространственных неоднородностях посевов, возникающих на поле в процессе выращивания сельскохозяйственных культур. Одним из факторов, влияющих на пестроту полей, служат неоднородности почвенного покрова. На примере тестового поля с преобладанием дерновых почв, в разной степени оглеенных, и посевами горчицы белой проведен анализ связи пестроты поля с неоднородностями почвенного покрова. Пестрота поля оценена на основе анализа изображений, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) четыре раза за сезон вегетации, с использованием вегетационного индекса NGRDI. Проанализирована пространственная корреляция индекса с зонами потенциального плодородия почв (ЗППП), выделенными по изображению с максимально открытой поверхностью почв. Максимальные коэффициенты корреляции составили от 0,3 до 0,4. Установлено, что пестрота сельскохозяйственных полей динамична во времени, и для ее полного понимания необходим анализ нескольких изображений за сезон. Пестрота полей сильнее коррелирует с ЗППП, чем с традиционными почвенными картами. Но выраженность этой связи зависит от ЗППП и фазы посевов, что подтверждает результаты предыдущих исследований, проведенных в Тверской, Тульской областях и Кабардино-Балкарии. Для выявления общих закономерностей и разработки рекомендаций по мониторингу и прогнозированию урожайности, согласно выводам авторов статьи, необходимо расширение исследований на другие культуры и почвенные условия.

Ключевые слова: пространственная неоднородность, посевы, БПЛА, мониторинг посевов, структура почвенного покрова.

AGRICULTURAL FIELD HETEROGENEITY AND ITS RELATIONSHIP WITH SOIL COVER

I. Yu. Savin ^{1,2}, Yu. I. Vernyuk ¹, O. D. Kucher ²¹*Federal Scientific Center «V. V. Dokuchaev Soil Science Institute»
bld. 2, 7, Pyzhevskiy Lane, Moscow, 119017,
e-mail: savin_iyu@esoil.ru;*²*Institute of Ecology, RUDN University
6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198*

The introduction of modern, locally adapted agricultural technologies requires information about the spatial heterogeneity of crops that can occur in a given field during the process of crop cultivation. One of the factors that can predetermine the spatial heterogeneity of crops (field heterogeneity) is the heterogeneity of soil cover. The relationship between field heterogeneity and soil cover inhomogeneity was analyzed in an experimental field with a predominance of soddy soils and white mustard crops. Field heterogeneity was detected by analyzing images taken by an unmanned aerial vehicle 4 times during the growing season. The NGRDI vegetation index was used as an indicator of crop condition. The pairwise spatial correlation of all received images of the index was analyzed, and the comparison of the index with the zones of potential soil fertility of the field, identified by the image with the maximally open soil surface, was made. The maximum spatial correlation coefficients were 0.3–0.4. It was found that the field diversity was very dynamic in time and it was impossible to get a complete picture of it on the basis of a single satellite or UAV image. The analysis of several images during the growing season is necessary to reveal its specificity. The diversity of the field correlates more with the zones of potential soil fertility in the field than with the units of a traditionally made soil map, but this relationship also manifests itself to a different extent in different zones and in different crop phenological phases. The results obtained for the experimental field confirmed the conclusions of the previous similar studies for several other experimental fields and crops in Tver, Tula Oblast and Kabardino-Balkaria. To identify more general regularities and to develop recommendations for remote monitoring as well as for crop condition and yield forecasting, it is necessary to extend such studies to other crops in other soil conditions.

Keywords: spatial heterogeneity, crops, UAV, crop monitoring, soil patterns.

ВВЕДЕНИЕ

Термин «пестрота полей» вошел в оборот научных публикаций о земледелии более 100 лет назад, но по-прежнему видится недостаточно четко и однозначно определенным. Изначально этот термин использовали для характеристики неоднородности почвенных условий внутри поля, которые проявлялись во внутриполевым варьировании урожайности сельскохозяйственных культур, и противопоставляли «равноплодородию» земельных участков (Дояренко, 1958). Термины «пестрота пашни», «пестрота почвенного типа участка» использованы в 1914 г. Н. М. Сибирцевым. Под «пашней» ученый подразумевал почвенный покров земельного участка (Сибирцев, 1914). На изучение пестроты агрохимических свойств почв пахотных угодий направлены усилия ряда агрохимиков (Хорошавин, 1934), что отражено в их многочисленных публикациях.

Все эти исследования положены в основу концепции структуры почвенного покрова (СПП), которая нашла широкое применение и в почвоведении (Фридланд, 1972), и в земледелии (Кирюшин, 2011). Но и в первоначальном значении до сих пор термин «пестрота» почвоведы используют для характеристики пространственных микрон неоднородностей почвенного покрова и свойств почв (Анциферова, 2017).

Часто авторы пишут о «пестроте урожайности» (Иванов, 2022), подразумевая пространственные неоднородности посевов на поле. Особенно актуальными исследования в этом направлении стали в последние десятилетия, по итогам широкого внедрения дистанционных методов для мониторинга посевов (Omia et al., 2023), а особенно при попытках их

использования в системах точного земледелия (Sishodia et al., 2020; Якушев и др., 2020).

В статье под «пестротой полей» мы понимаем пространственные неоднородности состояния посевов на поле (Савин, 2021). Именно это послужило объектом дистанционного мониторинга посевов, и именно эта информация имеет большее практическое значение, чем данные о пестроте почв или о СПП в понимании В. М. Фридланда (Фридланд, 1972). Это связано с тем, что пространственные неоднородности почвенного покрова служат лишь одним из многих факторов, предопределяющих неоднородности посевов, а значит, и урожайности сельскохозяйственных культур. При этом во многих случаях информация о неоднородностях почвенного покрова в виде сведений о его структуре или пестроте не может быть использована в качестве надежного предиктора состояния посевов либо урожайности культур вследствие того, что классификация почв в СПП базируется на свойствах почв, которые могут не отражать их агрономического качества относительно ряда сельскохозяйственных культур (Савин, 2016).

Цель настоящей статьи – демонстрация связи пространственных неоднородностей посевов с пространственной неоднородностью почв, выявляемых на основе данных, полученных с помощью БПЛА, на примере тестового поля с посевами горчицы белой (*Sinapis alba*), находящегося в Московской области.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на тестовом участке, расположенном в Московской области, вблизи поселка Михнево, как видно на рисунке 1.



Рис. 1. Расположение тестового поля (обведено красной линией на рисунке слева)

Площадь тестового участка составляет 5 га. На территории участка преобладает выположенный, слабоволнистый рельеф, с превышением высот не более 2 м. Согласно данным крупномасштабной почвенной карты хозяйства, в почвенном покрове поля господствуют дерновые тяжелосуглинистые почвы в сочетании с дерновыми глееватыми тяжелосуглинистыми почвами, развитыми на покровных суглинках (Почвенная карта, 1980)

Полевые работы проведены в 2022 г. На тестовом поле в этом сезоне возделывали горчицу белую (*Sinapis alba*). Посевы отсняты в надири, с применением БПЛА, с высоты 70–100 м в течение сезона вегетации. Всего получено четыре изображения: 28 апреля (всходы), 22 июня (стеблевание), 22 июля (цветение) и 30 августа 2022 г. (стерня после уборки). Для съемки использован БПЛА DJI Matrice 200 с установленной на гиросtabilизированной подвеске камерой. Всего за каждый срок съемки получено на территории поля около 150–200 изображений с пространственным разрешением 2–3 см на местности. Применена камера Zenmuse X4S, снимающая в видимом спектральном диапазоне (RGB). Основные ее характеристики: матрица CMOS, 1"; число эффективных пикселей – 20 Мп; объектив F/2.8-11, 8,8 мм (эквивалент формата 35 мм – 24 мм), FOV 84.

Для предполетной настройки БПЛА и камер использовано приложение DJI GO 4, а в целях автоматизированного построения маршрута полета и осуществления аэрофотосъемки – одновременно приложение для iOS и Android DroneDeploy. Обработка данных аэрофотосъемки проведена в специальном программном обеспечении Agisoft Metashape Professional (ГК «Геоскан», Россия) в несколько этапов:

- создание массива снимков, полученных в процессе съемки;
- установление опорных точек для геометрической трансформации снимков;
- построение полигональной модели;
- создание ортофотоплана на основе облака точек и полигональной модели.

Полученные ортофотопланы импортированы в ГИС ILWIS v. 3.3, при этом осуществлена геометрическая трансформация изображений в единую географическую проекцию (UTM) с размером пикселя 3 см на местности. Ортофотоплан от 28 апреля 2022 г., на котором преобладает изображение открытой поверхности почв, использован для выделения зон потенциальной продуктивности почв поля. Зоны выделены при визуальном дешифрировании по перепаду цвета и структуры изображения с использованием в качестве подложки цветового композита RGB (Савин, Блохин, 2022).

Затем полученные ортофотопланы проанализированы на предмет выявления неоднородностей изображения поля. С этой целью применен Normalized Green/Red Difference Index, (NGRDI) (Ahamed et al., 2011), рассчитанный по формуле:

$$NGRDI = (G - R) / (G + R),$$

где *NGRDI* – вегетационный индекс; *R* – спектральная яркость изображения в красном канале съемки; *G* – спектральная яркость изображения в зеленом канале съемки.

Указанный индекс выбран с учетом позиции его авторов. По их мнению, он более адаптирован к использованию данных, которые можно получить с помощью БПЛА со стандартной камерой.

Выделение неоднородностей изображения поля проведено по индексу NGRDI, с применением алгоритма ISODATA (Memarsadeghi, 2007). Далее выполнено сравнение выявленных неоднородностей между собой на основе анализа гистограмм значений NGRDI для каждой ЗПП и попарного пространственного корреляционного анализа между отдельными ортофотопланами, полученными в разные сроки съемки. Пространственная корреляция осуществлена посредством стандартного алгоритма, реализуемого в ILWIS v. 3.3 и построенного на базе подходов, предложенных J. Odland (1988). Дополнительно проведена неконтролируемая кластеризация каждого ортофотоплана с использованием стандартного алгоритма ILWIS v. 3.3 (<https://www.itc.nl/ilwis/users-guide/>) для сравнения ее результатов с выделами ЗПП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционно составленная почвенная карта не отражает пространственных неоднородностей почв, которые потенциально могут предопределять пестроту поля (Савин, 2016; 2021). Поэтому на первом этапе создана карта ЗПП тестового поля, что отражено на рисунке 2.

Синяя линия на рисунке 2, согласно данным традиционной почвенной карты, делит поле на две

части: с преобладанием дерновых (слева от линии) и дерновых глееватых почв (справа от линии). Однако, судя по характеру изображения открытой поверхности почв на ортофотоплане, полученном с БПЛА 28 апреля 2022 г., почвенный покров поля неоднороден и не соответствует изображению на традиционной почвенной карте. В пределах поля выделено семь ЗПП, краткая характеристика которых дана в таблице 1.



Рис. 2. Зоны потенциального плодородия почв

Примечание: красные границы, s1–s7 – номера зон (см. текст), синяя линия – граница между дерновыми (слева от линии) и дерновыми глееватыми (справа от линии) почвами в соответствии с Почвенной картой института Центргипрозем (1980). В качестве подложки использовано изображение с БПЛА, полученное 28 апреля 2022 г.

Таблица 1. Специфика выделенных зон потенциального плодородия почв поля

Код зоны (рис. 2)	Специфика почв	Доля от общей площади поля, %
s1	Самые гидроморфные почвы с сильным оглеением с поверхности, постоянным переувлажнением и низким содержанием гумуса	1,37
s2	Гидроморфные почвы с сильным оглеением с поверхности, периодическим переувлажнением, но с высоким содержанием гумуса	4,95
s3	Гидроморфные почвы с оглеением с поверхности, периодическим переувлажнением, со средним содержанием гумуса	16,52
s4	Гидроморфные почвы с оглеением внутри профиля, периодическим переувлажнением, со средним содержанием гумуса	37,48
s5	Полугидроморфные почвы с оглеением в нижней части профиля, с низким содержанием гумуса, с припаханным подгумусным горизонтом	16,66
s6	Полугидроморфные почвы с оглеением в нижней части профиля, с низким содержанием гумуса, часто нарушенные в результате прокладки дренажных канав по краю поля	9,54
s7	Наименее гидроморфные почвы с оглеением в нижней части профиля, с очень низким содержанием гумуса	13,48

Выделенные ЗПП предопределяют потенциал проявления пестроты поля, но его реализация зависит от типа возделываемой культуры, применяемой агротехники, гидротермических условий сезона. Различия в состоянии посевов между зонами могут не проявляться или быть сглаженными агротехническими приемами, использованием удобрений. Но отдельные зоны могут проявляться в состоянии посевов при любых условиях.

Так, в особенно влажные годы ЗПП с наиболее гидроморфными почвами могут отличаться полным вымоканием посевов, а с наименее гидроморфными – хорошим их состоянием. И наоборот, в засушливые сезоны хорошее состояние посевов можно наблюдать в ЗПП с наиболее гидроморфными почвами, а наиболее плохое состояние – на наименее гидроморфных почвах с низким содержанием гумуса. Использование высокого количества удобрений вполне может нивелировать разницу между почвами ЗПП по содержанию гумуса, а при недостатке вносимых удобрений – наоборот, разница будет наиболее выраженной. Кроме того, как указано выше, выраженность пестроты полей бывает разной для разных культур и разных фаз фенологического развития растений. Это четко показано ранее на примере полей с разными сельскохозяйственными

культурами при использовании многолетних архивов спутниковых данных (Савин, Блохин, 2022). Полученные нами данные для тестового поля подтверждают выявленные закономерности.

На рисунке 3 приведены примеры выделения пестроты тестового поля в разные даты съемки с БПЛА, которая представлена набором контрастных по изображению квазиоднородных контуров. Итак, на рисунке 3, на каждой карте, показано разным цветом разное количество классов (от 6 до 10). Визуальный анализ представленных карт указывает на то, что в 2022 г. на поле состояние посевов не очень хорошо соответствует выделам ЗПП в течение проанализированных сроков. Визуально лишь зона 1 в июне и июле хорошо отделяется от остальных зон по изображению посевов. Наихудшее соответствие обнаружено для карты, полученной 30 августа 2022 г. Речь идет о периоде сразу после уборки урожая, и пестрота поля в большей степени обусловлена развитием сорной растительности, наличием послеуборочных остатков на поверхности поля.

Анализ попарной пространственной корреляции между всеми сроками съемки подтвердил низкий уровень корреляции неоднородностей посевов с ЗПП. Это отражено в таблице 2.

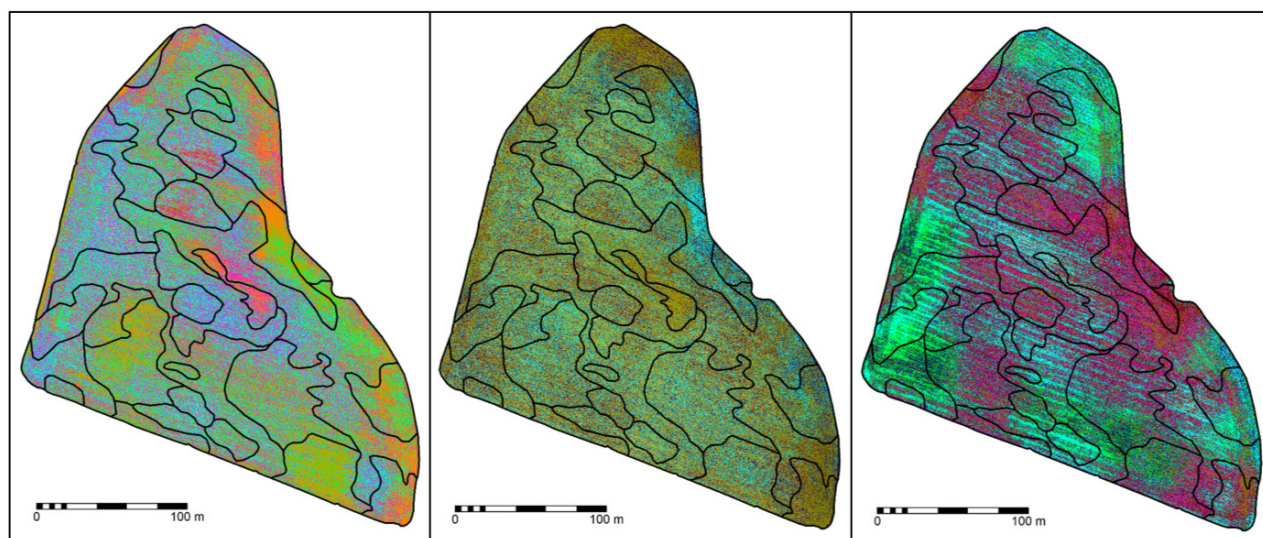


Рис. 3. Пестрота полей по данным съемки с БПЛА 22 июня 2022 г. (слева), 22 июля 2022 г. (в центре) и 30 августа 2022 г. (справа).

Примечание: черными границами показаны зоны потенциального плодородия почв поля; результаты кластеризации изображений на основе алгоритма ISODATA

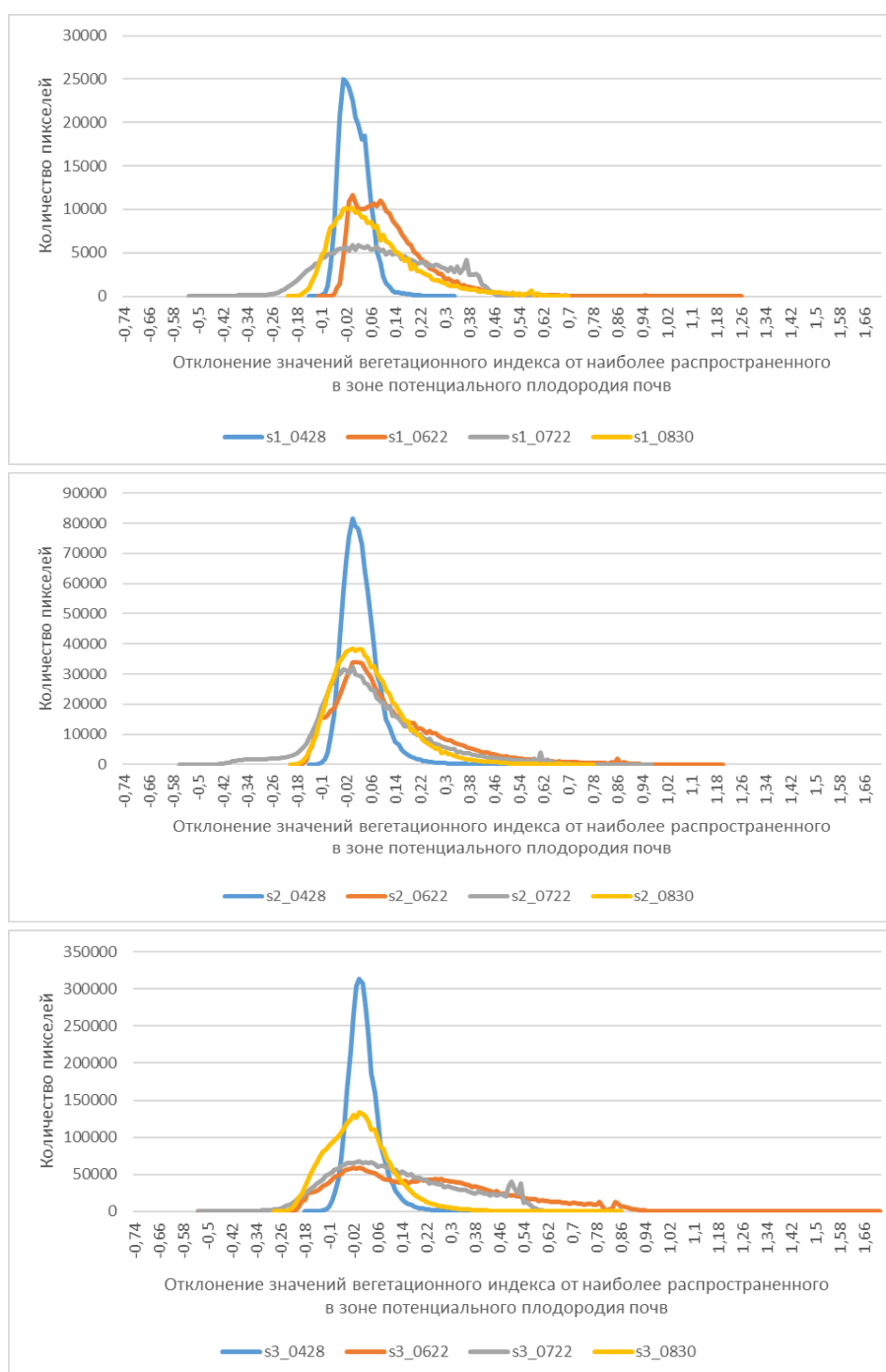
Таблица 2. Пространственная корреляция между изображениями посевов, полученными в разные сроки съемки

Сроки съемки	28.04.2022	22.06.2022	22.07.2022	30.08.2022
28.04.2022	1,00	–	–	–
22.06.2022	0,09	1,00	–	–
22.07.2022	0,21	0,40	1,00	–
30.08.2022	0,29	–0,18	0,23	1,00

Низкий уровень корреляции, видимо, обусловлен высоким пространственным разрешением изображений. В этом случае на характер изображения оказывают большое влияние неоднородности посевов микроуровня: изображение полос вспашки и следов прохода по полю сельхозтехники, присутствие сорных растений и выбросов почвенной фауны большого размера и т. д. Логично также выглядит более высокая корреляция между изображениями, полученными в июне и июле, когда растения находятся в середине сезона вегетации.

О влиянии высокого пространственного разрешения на уровень корреляции свидетельствует и рисунок 4, на котором представлено распределение

пикселей на изображении каждого срока съемки относительно преобладающих значений NGRDI для каждого типа выделов ЗПП. Большие диапазоны данных для многих графиков рисунка 4 обусловлены именно высоким пространственным разрешением изображений. Исключением служат графики для изображений посевов применительно ко всем ЗПП от 28 апреля 2022 г. Присутствие всходов незначительно повлияло на характер изображения, которое сформировано в основном открытой поверхностью почв. И пространственное варьирование NGRDI посевов оказалось низким во всех зонах: преобладают пиксели со значениями индекса в узком диапазоне ($\pm 0,1$ от модального значения зоны).



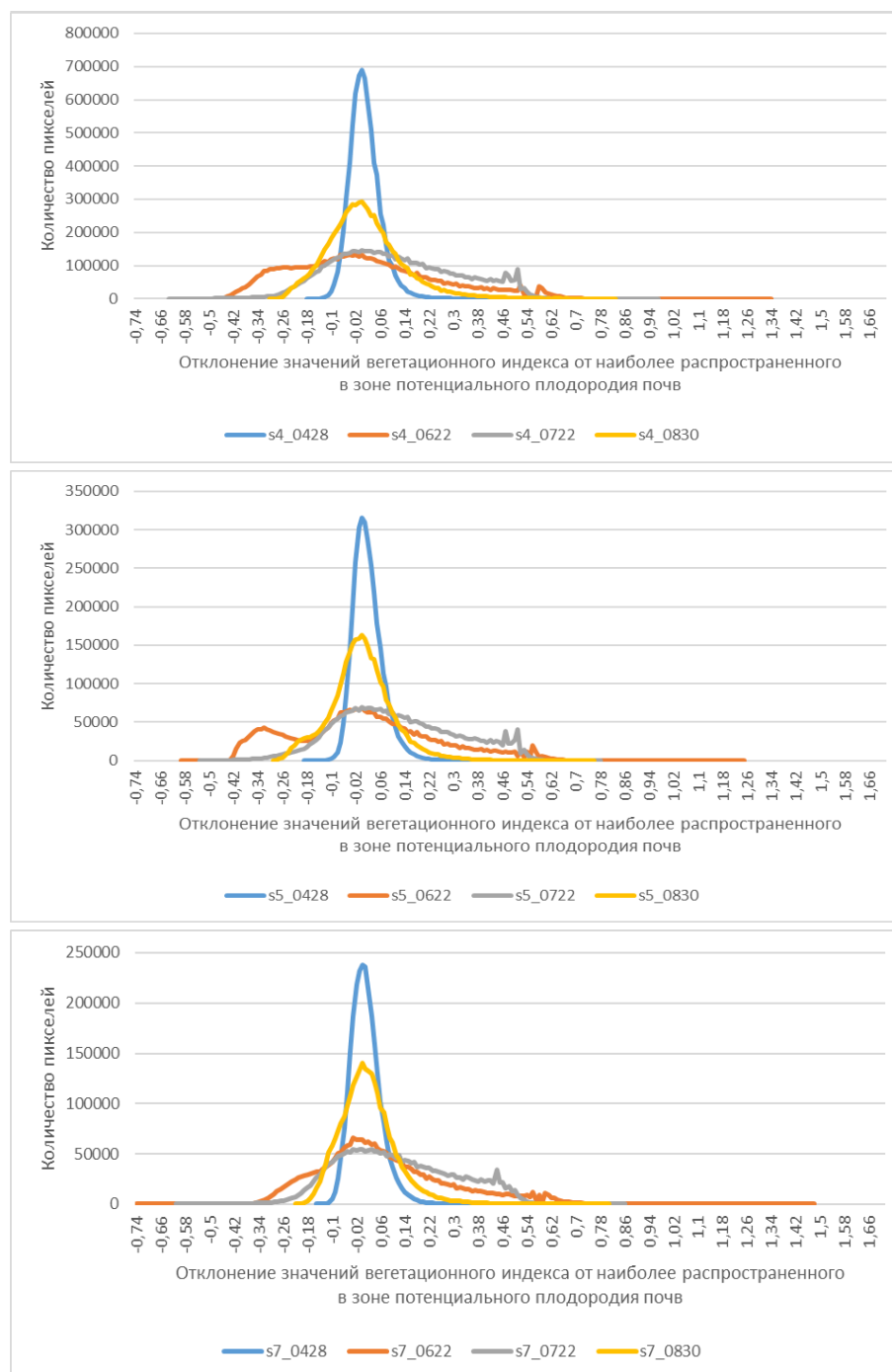


Рис. 4. Отклонение значений вегетационного индекса от наиболее распространенного во всех зонах потенциального плодородия почв. Примечание: s1–s7 – обозначение зоны потенциального плодородия (последние четыре цифры – месяц и день съемки)

Появление хорошо выраженного растительного покрова в июне и июле привело к расширению диапазона величин индекса в пределах всех выделенных зон, особенно значимо – в зонах с третьей по седьмую ($\pm 0,3$ от модального значения каждой из зон). Это свидетельствует об увеличении пестроты поля. В августе пестрота снижается, но не достигает значений апреля.

Интересен факт появления двухвершинности на графиках пятой и частично четвертой зоны в июне. Это, видимо, связано с более высокой засоренностью посевов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что пестрота полей очень динамична. Поэтому выявление ее специфики по одному изображению вряд ли будет возможным. Это подтверждает результаты подобных исследований, полученных для полей с другими культурами на основе спутниковых данных (Shi, Xingguo, 2011; Савин, Блохин, 2022; Mohr et al., 2023). В отличие от более генерализованных спутниковых данных, использование более детальных данных БПЛА позволяет получать в большей степени реалистичную картину пестроты полей. Иными словами, уровень выявляемой пестроты полей зависит,

кроме всего прочего, от типа и пространственного разрешения используемых данных дистанционного зондирования, что установлено ранее (Mulla, 2013).

Связь пестроты полей с пространственным варьированием потенциального плодородия почв на тестовом поле оказалась в целом невысокой. Теснота связи изменяется по мере развития посевов. Но выявленные особенности сезонной динамики, видимо, зависят и от гидротермических условий года, и от специфики почвенных свойств, лимитирующих рост сельскохозяйственных растений. Об этом, в частности, речь идет в исследованиях других авторов в других регионах (Falco et al., 2021; Хутуев и др., 2024).

Традиционно составленная почвенная карта вряд ли может служить надежным источником информации для оценки влияния лимитирующих свойств почв на пестроту полей, поскольку методы ее составления и схематичность, как показано на рисунке 2, не отражают в полной мере пространственного варьирования потенциального плодородия почв на поле.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что пестрота полей очень динамична во времени и

получить представление о ней на основе одного спутникового изображения или изображения с применением БПЛА невозможно. Для выявления ее специфики необходим анализ нескольких изображений за сезон вегетации. Пестрота полей может быть не связана с выделами традиционно составленной почвенной карты. В большей степени она коррелирует с зонами потенциального плодородия почв на поле. Но и эта связь проявляется в разной степени для разных зон и в разное время съемки (то есть на разных этапах развития посевов).

С целью разработки практических рекомендаций по организации дистанционного мониторинга и прогнозирования состояния посевов и урожайности сельскохозяйственных культур представляется необходимым расширение подобных исследований на посевы других культур в других почвенных условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ, БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме НИР FGUR-2025-0003.

Список литературы

- Анциферова О.А. Пространственная пестрота запасов продуктивной влаги в почвенных микрокомбинациях // Известия КГТУ. 2017. № 47.
- Дояренко А.Г. Из агрономического прошлого. М.: ГИСХЛ, 1958. 207 с.
- Иванов Д.А. Влияние агрофона на пестроту урожайности травостоев // Перспективные технологии и приемы управления продуктивностью агроэкосистем на мелиорированных землях (к 95-летию Почвенного института): Сборник материалов. Тверь, 2022. С. 284–287.
- Киришин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 442 с.
- Почвенная карта московского отделения ВИР Ступинского района Московской области (масштаб 1:10000). М.: Институт Центргипрозем, 1980. 1 л.
- Савин И.Ю. Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2016. № 84. С. 3–9. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9>
- Савин И.Ю. Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. № 4.
- Савин И.Ю., Блохин Ю.И. Об оптимизации размещения сети датчиков интернета вещей на пахотных угодьях // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2022. №110. С. 22–50. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-110-22-50>
- Сибирцев Н.М. Почвоведение. СПб.: Типолитография М. П. Фроловой, 1914. 504 с.
- Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.
- Хорошавин Б.П. К вопросу взятия смешанных почвенных образцов для целей химизации // Сборник научно-исследовательских работ Пермского сельскохозяйственного института. 1934. Т. 5.
- Хутуев А.М., Занилов А.Х., Тутукова Д.А., Савин И.Ю. NDVI посевов как дистанционный индикатор качества пахотных почв // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2024. № 121. С. 70–85. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-121-70-85>
- Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П., Петрушин А.Ф., Блохина С.Ю., Якушев В.В. Оценка внутриполевой изменчивости посевов с помощью вариограммного анализа спутниковых данных для точного земледелия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 114–122.
- Ahamed T., Tian L., Zhang Y., Ting K.C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production // Biomass & Bioenergy. 2011. Vol. 35. Issue 7. P. 2455–2469. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.02.028
- Falco N., Wainwright H.M., Dafflon B., Ulrich C., Soom F., Peterson J.E., Brown J.B., Schaettle K.B., Williamson M., Cothren J.D., Ham R.G., McEntire J.A., Hubbard S.S. Influence of soil heterogeneity on soybean plant development and crop yield evaluated using time-series of UAV and ground-based geophysical imagery // Scientific Reports. – 2021. Vol. 11. P. 7046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86480-z>
- ILWIS Documentation version 3. URL <https://www.itc.nl/ilwis/users-guide/> (accessed on 23.05.2025)

- Memarsadeghi N., Mount D.M., Netanyahu N.S., Le Moigne J. A Fast Implementation of the Isodata Clustering Algorithm // *International Journal of Computational Geometry & Applications*. 2007. Vol. 17. № 1. P. 71–103. <https://doi.org/10.1142/S0218195907002252>
- Mohr J., Tewes A., Ahrends H., Gaiser T. Assessing the Within-Field Heterogeneity Using Rapid-Eye NDVI Time Series Data // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. № 5. P. 1029. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051029>
- Mulla D.J. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // *Biosystems Engineering*. 2013. Vol. 114. P. 358–371.
- Odland J. Spatial autocorrelation. In: G.I. Thrall (Ed.), *Sage University Scientific Geography Series no. 9*. Sage Publications, Beverly Hills. 1988. 87 pp.
- Omia E., Bae H., Park E., Kim M.S., Baek I., Kabenge I., Cho B.-K. Remote Sensing in Field Crop Monitoring: A Comprehensive Review of Sensor Systems, Data Analyses and Recent Advances // *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. № 2. P. 354. <https://doi.org/10.3390/rs15020354>
- Shi H., Mo X. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing // *Ecological Modelling*. 2011. Vol. 222. № 14. P. 2530–2541.
- Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. № 19. P. 3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>

References

- Antsiferova O.A. Prostranstvennaya pestrota zapasov produktivnoy vlagi v pochvennykh mikrokombinatsiyakh [Spatial variability of productive moisture reserves in soil microcombinations] // *Izvestiya KGTU*. 2017, no. 47.
- Doyarenko A.G. *Iz agronomicheskogo proshlogo* [From the agronomic past]. Moscow: GISKhL, 1958, 207 p.
- Ivanov D.A. Vliyaniye agrofona na pestrotu urozhaynosti travostoyev [The influence of the agronomic background on the variability of grassland yields] // *Perspektivnyye tekhnologii i priyemy upravleniya produktivnost'yu agroekosistem na meliorirovannykh zemlyakh (k 95-letiyu Pochvennogo instituta): Sbornik materialov*. Tver, 2022, pp. 284–287.
- Kiryushin V.I. *Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proyektirovaniye agrolandshtafrov* [Theory of adaptive landscape agriculture and design of agrolandscapes]. Moscow: KolosS, 2011, 442 p.
- Pochvennaya karta moskovskogo otdeleniya VIR Stupinskogo rayona Moskovskoy oblasti (masshtab 1:10000)* [Soil map of the Moscow branch of VIR of the Stupinsky district of the Moscow region (scale 1:10000)]. Moscow: Institut Tsentrprozem, 1980, 1 sheet.
- Savin I.Yu. Klassifikatsiya pochv i zemledeliye [Soil classification and agriculture] // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchayeva*. 2016, no. 84, pp. 3–9. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9>
- Savin I.Yu. Prostranstvennaya adaptatsiya sistem zemledeliya k pestrote poley [Spatial adaptation of farming systems to field variability] // *Vestnik RUDN. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*. 2021, no. 4.
- Savin I.Yu., Blokhin Yu.I. Ob optimizatsii razmeshcheniya seti datchikov interneta veshchey na pakhotnykh ugod'yakh [On optimizing the placement of IoT sensor networks on arable land] // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchayeva* [Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute]. 2022, no. 110, pp. 22–50. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-110-22-50>
- Sibirtsev N.M. *Pochvovedeniye* [Soil science]. St. Petersburg: Tipolitografiya M.P. Frolovoy, 1914, 504 p.
- Fridland V.M. *Struktura pochvennogo pokrova* [Structure of the soil cover]. Moscow: Mysl', 1972, 423 p.
- Khoroshavin B.P. K voprosu vzyatiya smeshannykh pochvennykh obraztsov dlya tseley khimizatsii [On the issue of taking mixed soil samples for chemicalization purposes] // *Sbornik nauchno-issledovatel'skikh rabot Permskogo sel'skokhozyaystvennogo instituta*. 1934, vol. 5.
- Khutuev A.M., Zamilov A.Kh., Tutukova D.A., Savin I.Yu. NDVI posevov kak distantsionnyy indikator kachestva pakhotnykh pochv [NDVI of crops as a remote indicator of the quality of arable soils] // *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchayeva*. 2024, no. 121, pp. 70–85. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-121-70-85>
- Yakushev V.P., Bure V.M., Mitrofanova O.A., Mitrofanov E.P., Petrushin A.F., Blokhina S.Yu., Yakushev V.V. Otsenka vnutripolevoy izmenchivosti posevov s pomoshch'yu variogrammnogo analiza sputnikovyykh dannyykh dlya tochnogo zemledeliya [Assessment of within-field variability of crops using variogram analysis of satellite data for precision agriculture] // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020, vol. 17, no. 2, pp. 114–122.
- Ahamed T., Tian L., Zhang Y., Ting K.C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production // *Biomass & Bioenergy*. 2011. Vol. 35. Issue 7. P. 2455–2469. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.02.028
- Falco N., Wainwright H.M., Dafflon B., Ulrich C., Soom F., Peterson J.E., Brown J.B., Schaettle K.B., Williamson M., Cothren J.D., Ham R.G., McEntire J.A., Hubbard S.S. Influence of soil heterogeneity on soybean plant development and crop yield evaluated using time-series of UAV and ground-based geophysical imagery // *Scientific Reports*. – 2021. Vol. 11. P. 7046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86480-z>
- ILWIS Documentation version 3. URL <https://www.itc.nl/ilwis/users-guide/> (accessed on 23.05.2025)
- Memarsadeghi N., Mount D.M., Netanyahu N.S., Le Moigne J. A Fast Implementation of the Isodata Clustering Algorithm // *International Journal of Computational Geometry & Applications*. 2007. Vol. 17. № 1. P. 71–103. <https://doi.org/10.1142/S0218195907002252>
- Mohr J., Tewes A., Ahrends H., Gaiser T. Assessing the Within-Field Heterogeneity Using Rapid-Eye NDVI Time Series Data // *Agriculture*. 2023. Vol. 13. № 5. P. 1029. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051029>

- Mulla D.J. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // Biosystems Engineering. 2013. Vol. 114. P. 358–371.
- Odland J. Spatial autocorrelation. In: G.I. Thrall (Ed.), Sage University Scientific Geography Series no. 9. Sage Publications, Beverly Hills. 1988. 87 pp.
- Omia E., Bae H., Park E., Kim M.S., Baek I., Kabenge I., Cho B.-K. Remote Sensing in Field Crop Monitoring: A Comprehensive Review of Sensor Systems, Data Analyses and Recent Advances // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. № 2. P. 354. <https://doi.org/10.3390/rs15020354>
- Shi H., Mo X. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing // Ecological Modelling. – 2011. Vol. 222. № 14. P. 2530–2541.
- Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review // Remote Sensing. 2020. Vol. 12. № 19. P. 3136. <https://doi.org/10.3390/rs12193136>

УДК 631.811:631.599;633.11.1

DOI: 10.25695/AGRPH.2025.02.04

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА ПЕРЕЗИМОВКУ И СТРУКТУРУ УРОЖАЙНОСТИ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ НА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ

Е. С. Степанова 

ORCID

Степанова Е. С. [0009-0003-6547-2199](https://orcid.org/0009-0003-6547-2199)

*Мелитопольский государственный университет,
272312, г. Мелитополь, пр. Богдана Хмельницкого, д. 18,
e-mail: yekaterina.stepanova.22@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.05.2025, принята в печать 09.06.2025

На засоленных почвах урожайность сельскохозяйственных культур снижается даже у солеустойчивых растений. У разных сортов озимой пшеницы существуют генетически детерминированные признаки, относящиеся к структуре урожайности. Препараты с ростостимулирующим эффектом влияют на перезимовку и структуру урожая озимой пшеницы, поэтому тема исследований является актуальной. Целью исследования являлась оценка влияния полифункциональных биопрепаратов на перезимовку, структуру урожая и биологическую урожайность сортов озимой мягкой пшеницы в условиях выращивания на засоленных почвах. При изучении сортов пшеницы мягкой озимой Антонивка, Запашна, Статна, Фермерка и Эпоха Одэска установлено, что на перезимовку, структуру урожая и биологическую урожайность значительное влияние оказывают биопрепараты Стимпо и Регоплант. Перезимовка растений озимой пшеницы в большей степени зависела от сорта. Лучше всех перезимовали сорта Запашна и Фермерка, у которых данный показатель составил 94,20% и 94,54%, соответственно, а хуже – сорт Статна, у которого сохранилось только 88,39% растений. Препараты Стимпо и Регоплант достоверно влияли на перезимовку только на двух сортах. У сорта Статна препарат Стимпо увеличил перезимовку на 13,44%, а препарат Регоплант – на 11,14%. У сорта Эпоха Одэска препарат Стимпо увеличил перезимовку на 9,54%, а препарат Регоплант – на 6,42% в сравнении с вариантом без применения препарата. На засоленных почвах эффективнее выращивать сорта Запашна, Фермерка и Эпоха Одэска, у которых биологическая урожайность составила 3,25–3,47 т га⁻¹. Биопрепарат Стимпо увеличил биологическую урожайность на 27,5%, а биопрепарат Регоплант – на 18,5% в сравнении с вариантом без применения препарата. Установлена сильная корреляционная связь между биологической урожайностью и полевой всхожестью, количеством зерен в колосе, количеством продуктивных стеблей, массой зерна в колосе и с массой 1000 зерен ($r = 0,65–0,78$).

Ключевые слова: пшеница, биопрепараты, засоленные почвы, урожайность, перезимовка.