

7. Melbert A.A. Primenenie toplivopodayushchey apparatury s uvelichennym davleniem vpryska dlya snizheniya tekhnogennoy nagruzki na okruzhayushchuyu sredu / A.A. Melbert, Ch.Kh. Nguen, A.V. Mashenskiy // Traktory i selkhozmashiny. 2022. T. 89. No. 5. S. 325-331.
8. Etminan, M., et al. (2016). Radiative forcing of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide: A significant revision of the methane radiative forcing: Greenhouse gas radiative forcing. *Geophysical Research Letters*. 43. DOI: 10.1002/2016GL071930.
9. Rasporyazhenie Pravitelstva RF ot 7 iyulya 2017 g. №. 1455-р. O strategii razvitiya selskokhozyaystvennogo mashinostroeniya RF na period do 2030 g. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71616626/> (data obrashcheniya 18.11.25).
10. Ladommatos, N., Abdelhalim, S., Zhao, H. (2000). The Effects of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Combustion and Emissions. *International Journal of Engine Research*. 1. 107-126. DOI: 10.1243/1468087001545290.
11. Badamasi M., Nura M., Gali H.M. (2016). Diesel Engine Modification Techniques to Minimize its Exhaust Emission (Theoretical Survey). *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*. 5. 1-7.



УДК 631.58:005.745(06)

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-254-12-80-89

**Н.В. Овчарова, В.И. Беляев,
Л.В. Соколова, Е.Е. Квасов**
N.V. Ovcharova, V.I. Belyaev,
L.V. Sokolova, E.E. Kvasov

ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

OPERATIONAL MONITORING OF CROP CONDITION WITH UNMANNED AERIAL VEHICLES

Ключевые слова: точное земледелие, мониторинг, БПЛА, RGB-изображение, ортофотоплан, дифференцированный подход, вегетационный индекс.

Изучен и предложен алгоритм мониторинга и прогнозирования урожайности с помощью беспилотных летательных аппаратов при построении электронных карт для дифференцированного посева сельскохозяйственных культур. Разработка и апробация технологии дифференциированного внесения посевного материала проводились в течение 4 лет с 2022 по 2025 гг. на 8 полях посевов кукурузы и подсолнечника в ООО «Золотая осень» Алейского района. Хозяйство расположено в Приалейской почвенно-климатической зоне, работает по классической плоскорезной обработке почвы. В результате исследования раскрыты показатели оценки структуры урожая, установление связей средней массы зерна в корзинке от количества всходов, средние запасы влаги в метровом слое почвы на исследуемых посевах. Выявление признаков недостатка увлажнения на полях производилось с помощью определения индекса S2WI и наземными методами. На подготовленных картах зоны стабильности почвенных контуров достигают 50% и выше. Выявлено, что влажность почвы поля является важным и лимитирую-

щим фактором при развитии агроценозов. В рамках проведённого полевого эксперимента с переменной нормой высева в зависимости от зон почвенного плодородия подготовлены ортофотопланы мониторинговых полей для всех стадий онтогенетического развития культур в динамике вегетационного периода. Выполненные карты с индексом NDVI (диапазон от -1 до 1) показали детальную информацию о состоянии растений. Оперативный мониторинг состояния посевов с помощью беспилотных летательных аппаратов позволил контролировать этапы роста, развития культур, плотность посевов, эффективность применения сельскохозяйственной техники и контроль выполнения технологических операций при дифференциированном подходе.

Keywords: precision farming, monitoring, unmanned aerial vehicle (UAV), RGB image, orthophotoplan, differentiated approach, vegetation index.

The algorithm for monitoring and forecasting yields using unmanned aerial vehicles when building electronic maps for differentiated crop sowing is studied and proposed. The development and testing of the technology of differentiated seed placement was carried out over 4 years from 2022 through 2025 in 8 fields of maize and sunflower crops of the agricultural enterprise OOO

Zolotaya Osen of the Aleyskiy District. The farm is located in the Prialeiskaya soil and climatic zone, and it operates according to classical subsurface tillage technique. The yield formula was evaluated, the relationships of the average grain weight in anthodium and the number of seedlings and the average moisture storage in a meter-deep soil layer on the studied crops were revealed. The detection of signs of moisture deficit in the fields was carried out by determining the S2WI index and by the ground methods. On the developed maps, the stability zones of the soil contours reach 50% and above. It has been revealed that the moisture content of the soil is an important and limiting factor in the development of agro-

ecosystems. As a part of the conducted field experiment with a variable seeding rate depending on the zones of soil fertility, orthophotoplans of monitoring fields were prepared for all stages of the ontogenetic development of crops during the growing season. The developed maps with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) index (range from -1 to 1) showed detailed information about the condition of plants. Operational monitoring of the crop condition using unmanned aerial vehicles made it possible to control the stages of growth, crop development, crop density, and the effectiveness of agricultural machinery and the control of technological operations with the differentiated approach.

Овчарова Наталья Владимировна, к.б.н., доцент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: ovcharova@mc.asu.ru.

Беляев Владимир Иванович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственной техники и технологий, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Соколова Людмила Валерьевна, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: l.v.sokol@mail.ru.

Квасов Егор Евгеньевич, студент, Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kvasoveg@yandex.ru.

Ovcharova Natalya Vladimirovna, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: ovcharova@mc.asu.ru.

Belyaev Vladimir Ivanovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: prof-belyaev@yandex.ru.

Sokolova Lyudmila Valerevna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: l.v.sokol@mail.ru.

Kvasov Egor Evgenovich, student, Altai State University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kvasoveg@yandex.ru.

Введение

Динамичное становление концепции точного земледелия, начавшееся в 1990-е гг., опиралось на интеграцию глобальных навигационных систем, геоинформационных технологий, а также активно развивающихся сенсорных средств и автоматизированных систем управления сельскохозяйственной техникой.

Экологическое значение дифференцированного посева, проводимого с учетом микрорельефа и неоднородности полей, в целом ниже, чем эффект от дифференцированной обработки почвы, при этом количественная его оценка представляет определенную сложность. Вместе с тем дифференцированное внесение удобрений обладает значительно более выраженным экологическим преимуществом. Оптимизация доз применения питательных элементов позволяет снижать их общий расход, что уменьшает их негативное воздействие на окружающую среду как на этапе производства, так и при внесении в поле. Реализацию подобных мероприятий, учитывающих мелкомасштабную пространственную изменчивость агрофона, возможно осуществлять с применением различных технических решений.

Глобальная тенденция перехода к устойчивым системам земледелия требует рационального применения удобрений и средств защиты растений (СЗР), исключающего чрезмерное воздействие на природные экосистемы. В этих условиях технологии точного и дифференцированного внесения элементов минерального питания и СЗР рассматриваются как один из наиболее эффективных механизмов устойчивого развития сельского хозяйства [1].

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для контроля состояния посевов и оценки качества выполнения производственных операций стало важным направлением в современном аграрном секторе [2-7]. Информация, получаемая с борта БПЛА, позволяет своевременно выявлять нарушения технологических процессов, определять участки с засоренностью, с недостаточным развитием растений, а также зоны, пораженные фитопатогенами или вредителями [8-17].

Цель работы – разработать и оценить автоматизированную методику определения потенциала агроценозов при дифференцированном подходе, включая применение данных, полученных с БПЛА. Задачи исследований: заложить

полевые опыты на посевах подсолнечника и кукурузы; установить связи между отдельными элементами структуры урожая при дифференцированном посеве по зонам плодородия поля; провести экспериментальную проверку разработанной методики.

Объекты и методы исследований

Одним из ключевых элементов технологии дифференциированного высева семян, ориентированной на производственный потенциал поля, выступает формирование электронных карт-заданий. Определение зон почвенного плодородия выполнено в соответствии с методикой научай «Технология обнаружения зон плодородия почвы на основе космического мониторинга и данных БПЛА» (Овчарова Н.В., Беляев В.И., Силантьева М.М.). Проанализированы отдельно по прошлым периодам карты по индексу NDVI и индексу влажности S2WI. Именно многолетние данные в сочетании с данными севаоборота демонстрируют стабильные зоны.

Исследования в направлении разработки и апробации технологии дифференциированного подхода возделывания сельскохозяйственных культур проводились с 2022 по 2025 гг. Всего изучено 8 полей посевов кукурузы и подсолнечника в ООО «Золотая осень» Алтайского района,

заложено более 90 учетных площадок, в каждый вегетационный период проведена воздушная съемка с БПЛА для оперативного мониторинга и подготовки ортофотопланов. В работе представлены результаты 2024 г. исследований.

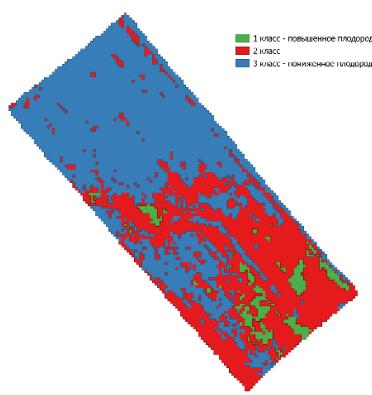
Всего в 2024 г. в экспериментальном мониторинге по дифференциированному высеву в ООО «Золотая осень» участвовали 2 поля. На 2 полях № 21 (высеваемая культура – подсолнечник) и № 40 (кукуруза) проведён полевой эксперимент с переменной нормой высева в зависимости от зон почвенного плодородия (табл. 1, 2, рис. 1).

Возделываемые культуры – подсолнечник и кукуруза – выращивались по различным предшественникам: лен и овес соответственно. Осенью была проведена плоскорезная обработка почвы орудиями КПШ и КПГ на глубину 15-17 и 25-27 см соответственно. Посев осуществлялся 10 и 24 мая сеялкой Horsch Maestro, сорт Экселент и гибрид Кромвел. Химическая защита подсолнечника включала обработку 10 июля баковой смесью: трибенурон-метил (60 г/га), клетодим (0,3 л/га), галоксифоп (0,3 л/га) и альфа-циперметрин (50 г/га). По кукурузе применялись препараты «Никосульфорон» (0,09 кг/га) + «Эфир» + «Флорасулам» (0,35 л/га) + «Альфа-циперметрин» (0,05 л/га).

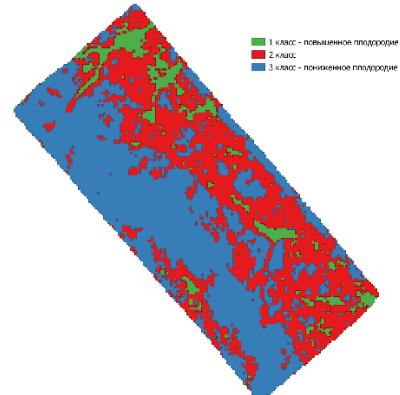
Таблица 1

Предшественники мониторинговых полей согласно севаобороту в ООО «Золотая осень»

Номер поля	Годы				
	2020	2021	2022	2023	2024
21	гречиха	овес	пшеница	лен	подсолнечник
40	пшеница	соя	соя	овес	кукуруза



Поле № 21



Поле № 40

Рис. 1. Общая схема опытных полей с учётом почвенных зон плодородия:

1-й класс – повышенное плодородие, зелёный цвет;

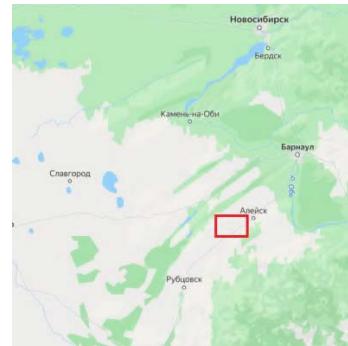
2-й класс – умеренное плодородие, красный цвет; 3-й класс – пониженное плодородие, синий цвет

Таблица 2

Координаты мониторинговых площадок поля № 21 (а) для дифференцированного посева подсолнечника с учётом зон почвенного плодородия с общей картой-схемой (б) ОО «Золотая осень»

Классы плодородия	Зоны (дифференцированные нормы высева)			
	подсолнечник		кукуруза	
	I (45 тыс/га)	II (55 тыс/га)	I (55 тыс/га)	II (45 тыс/га)
1	1.1	1.2	1.1	1.2
2	2.1	2.2	2.1	2.2
3	3.1	3.2	3.1	3.2

а



б

Исследование погодных условий за период май-август 2024 г. показало, что сумма осадков и температурные показатели значительно варьировались (рис. 2). Средняя температура воздуха в июне составляла 21,1°C при среднемноголетней норме 18,5°C. Эти данные указывают на более влажные и теплые условия по сравнению с среднемноголетними значениями.

Данные анализа погодных условий вегетационного периода 2024 г. (табл. 3) показали, что

средняя температура воздуха составила 19,0°C, что на 1,6°C выше среднемноголетней (17,4°C). Сумма осадков достигла 283 мм, что на 51% больше, чем среднемноголетние значения (188 мм). Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) (1928) [18] составил 1,32, оказалвшись значительно выше среднего значения (0,89) с отклонением в +0,43 ед.

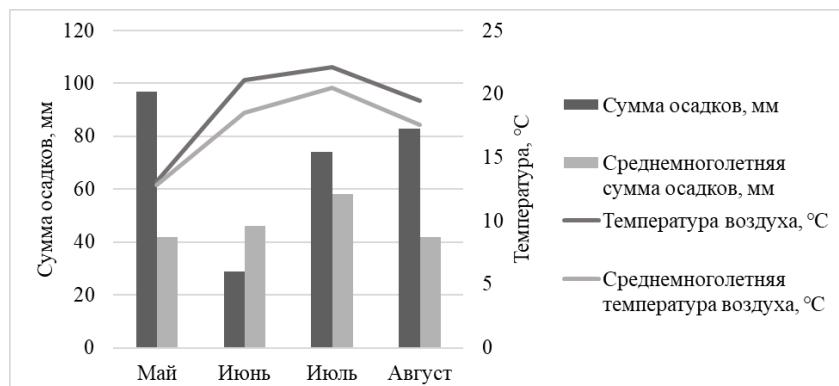


Рис. 2. Распределение осадков и температур по месяцам вегетации 2024 г. по данным метеостанций г. Алейска Алтайского края (<https://rp5.ru/>) [9]

Таблица 3

Погодные условия периода май-август 2024 г. по данным метеостанции г. Алейска Алтайского края (<https://rp5.ru/>)

Показатель	Значение
Средняя температура воздуха, °C	19,0
Среднемноголетняя температура воздуха, °C	17,4
Отклонение от среднемноголетней температуры, °C	+1,6
Сумма осадков, мм	283
Среднемноголетняя сумма осадков, мм	188
Отклонение от среднемноголетней суммы осадков, %	+51
ГТК	1,32
ГТК по среднемноголетним данным	0,89
Отклонение ГТК от среднемноголетнего	+0,43

Результаты исследований и их обсуждение

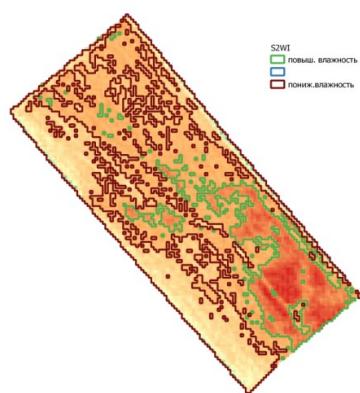
При разработке карт зон плодородия было выявлено, что выбор даты спутниковой съёмки имеет решающее значение для прогнозирования зон по космическим изображениям. Также были учтены факторы, влияющие на неровность почвы – технологические агроприёмы обработки почвы (классическая отвальная вспашка, плоскорезная или «нулевая» обработка почвы), период осадков и таяния снега.

Выявление признаков недостатка увлажнения на полях производилось с помощью индекса S2WI (рис. 3). Влажность верхнего слоя почвы до 20 см анализировалась по спутниковым данным в течение последних 5-6 лет в весенний период (апрель-май) и осенний (сентябрь-ноябрь). При анализе космических снимков учитывались спектральные помехи/шумы, облачность, тени, температурный диапазон весенне-осеннего периода, количество осадков, период открытия полей после схода снега.

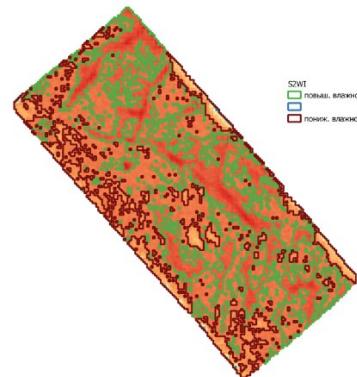
После расчёта зон плодородия мониторинговых полей индекса влажности S2WI спутниковых данных карты комбинировались с картами по вегетационному индексу NDVI, и были получены более точные карты зон почвенного плодородия. Распределение зон продуктивности, яркости почвы и рельефа представлено на примере поля № 21 (по данным платформы One Soil) (рис. 4).

На подготовленных картах зоны стабильности почвенных контуров достигают 50% и выше. Таким образом, влажность почвы поля является важным и лимитирующим фактором при развитии агроценозов.

Впервые для региона проведены мониторинговые полёты с дронов для целей визуального детектирования распределения зон продуктивности сельскохозяйственных культур и сравнения с космическими снимками. Съёмка проводилась на всех стадий онтогенетического развития кукурузы и подсолнечника.



Поле № 21



Поле № 40

Рис. 3. Карты усредненного индекса влажности S2WI экспериментальных полей № 21, 40 с контурами масштабом 10 м пиксель (согласно методике ноу-хау «Технология обнаружения зон плодородия почвы на основе космического мониторинга и данных БПЛА» (Овчарова Н.В., Беляев В.И., Силантьева М.М.)

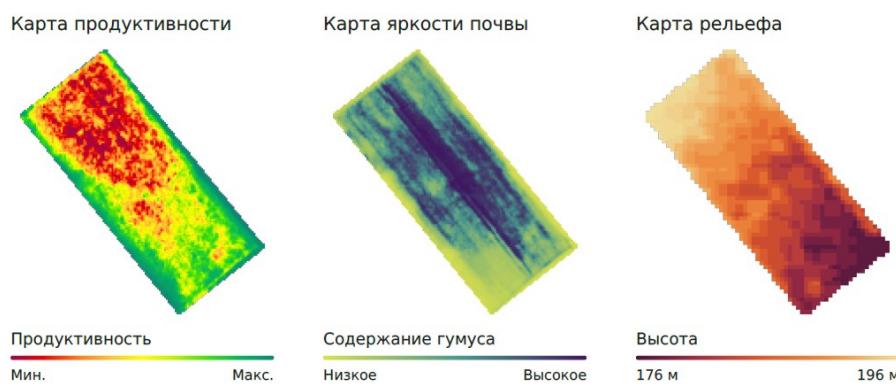


Рис. 4. Сравнение зон продуктивности, яркости почвы и рельефа поля № 21 2024 г. (по данным платформы One Soil)

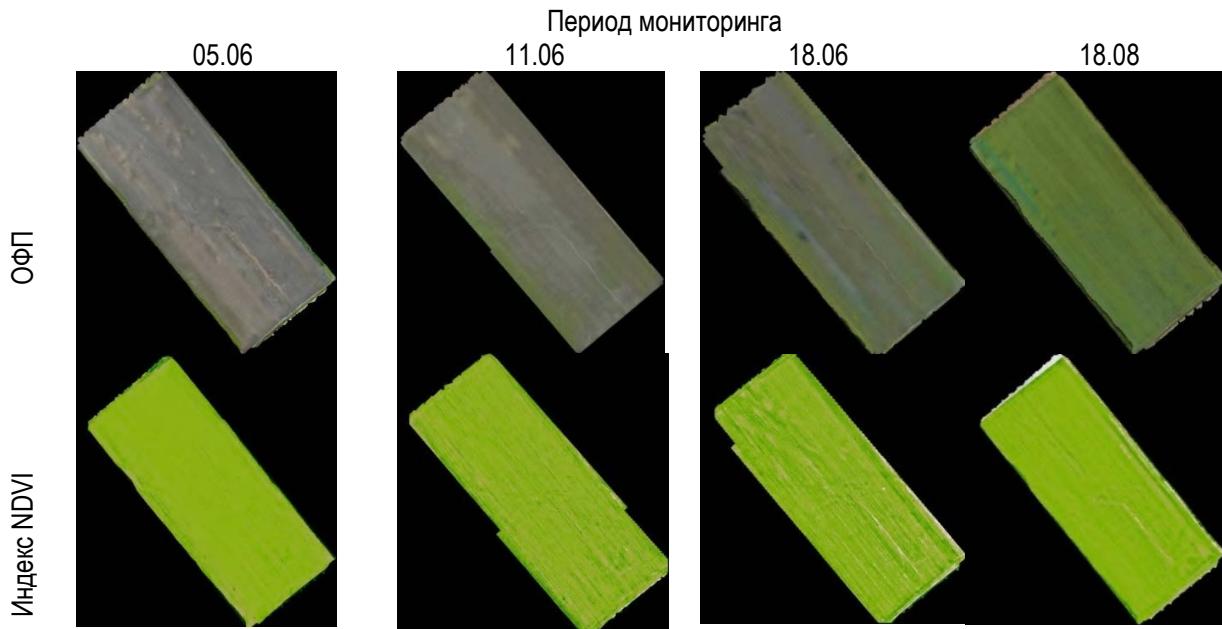
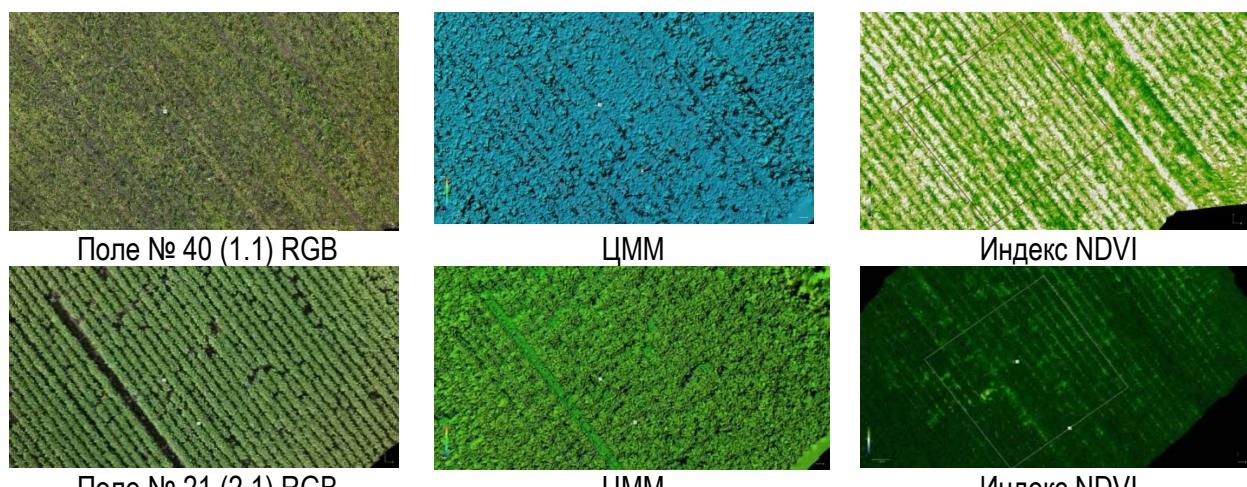


Рис. 5. Ортофотоплан (ОФП) и индекс NDVI мониторинговых площадок посевов подсолнечника в разный период мониторинга

Перекрытие кадров при съёмке составляло 70-80% (поперечное перекрытие) и 80% (продольное перекрытие). Высота полёта над площадками варьировала от 10 до 15 м от поверхности земли. В результате аэрофотосъёмки в зависимости от высоты и степени перекрытия кадров было получено от 120 до 250 фотографий на каждую площадку, разделённые на 5 каналов (RGB, G, R, RE, NIR). Общее число фотографического материала превышает 25 000. Выполненные карты с индексом NDVI показали более детальную информацию о состоянии растений, где сам индекс представлен диапазоном от -1 до 1. Для всех мониторинго-

вых площадок полей № 21 и 40 подготовлены обработанные снимки, сшитые в ортофотопланы (рис. 5), RGB – изображения с БПЛА, ЦММ – цифровая модель местности (рис. 6) и индекс растительности NDVI. Данные показатели в совокупности демонстрируют распределение растительности в зависимости от механических повреждений, болезней и вредителей, показателей почвы и влагонакопления.

Было выявлено, что индекс вегетации NDVI, определяемый с помощью воздушной съёмки беспилотными летательными аппаратами, более информативный, чем анализ по космическим снимкам.



*Рис. 6. Фрагменты ортофотопланов мониторинговых площадок полей № 40 и 21
ООО «Золотая осень»*

Оценка структуры урожая проведена для посевов кукурузы и подсолнечника. Как показывает анализ измерений растений кукурузы при отборе проб урожая средняя высота растений находилась в пределах 2,44-2,86 м при вариации 6,7%, а средняя масса одного растения различалась более существенно: от 429,7 до 618,3 г при вариации 14,7%. Изменения средней массы первого початка было незначительным (197,5-210,9 г при вариации всего 2,7%), а второго и третьего початков – очень значимым (14,0-63,9 г при вариации 63,3% и 7,1-31,0 г при вариации 53,0% соответственно). Вариация средней влажности растительной массы была сопоставима с вариацией высоты растений (6,3%).

В результате установлена следующая линейная связь между средней массой одного растения и массой трех початков на нем:

$$M_1 = 0,473 M_{1-3\pi}, R^2=0,83. \quad (1)$$

В среднем по двум нормам высева семян максимальные значения биомассы растений и початков получены в зоне повышенного плодородия поля (324,2 и 153,4 ц/га соответственно), а минимальные – в зоне пониженного плодородия (236,8 и 112,0 ц/га соответственно).

В среднем по трем зонам плодородия поля максимум биомассы растений и початков получен при норме высева семян 55 тыс. шт/га (299,7 и 141,8 ц/га соответственно), что значимо выше, чем при минимальной норме высева се-

мян, – 45 тыс. шт/га (244,1 и 115,4 ц/га соответственно).

Было установлено, что среднее количество всходов подсолнечника в зависимости от варианта опыта изменялось в диапазоне от 2,92 до 3,98 шт/м² при коэффициенте вариации 10,6%. Высота растений варьировала от 244 до 357 мм, что соответствует 15,5% изменчивости. При проведении учёта урожайности, выполненного методом выборки 3 корзинок из 20 по каждому варианту (с минимальной, средней и максимальной массой), устанавливалась зависимость между массой корзинки и массой семян в ней. Всего 6 вариантов по 3 корзинки = 18 проб. В результате получено следующее высокозначимое уравнение связи:

$$\begin{aligned} M_3/\text{корз.} &= -0,0168 + 0,957 M_1/\text{корз.} - \\ &- 1,287 M_1/\text{корз.}^2, R^2=0,94. \end{aligned} \quad (2)$$

В графическом виде зависимость приведена на рисунке 7.

Изменения средней массы корзинки и зерна в ней по вариантам опыта находились в пределах 0,092-0,189 кг и 0,067-0,106 кг при вариации 25,4 и 19,4% соответственно. Расчетные значения массы зерна в корзинке и влажности зерна также были высокозначимы и составили 23,3 и 17,9% соответственно. Т.е. исследуемые факторы в значительной мере влияли как на массу корзинки, зерна в ней, так и на влажность зерна.

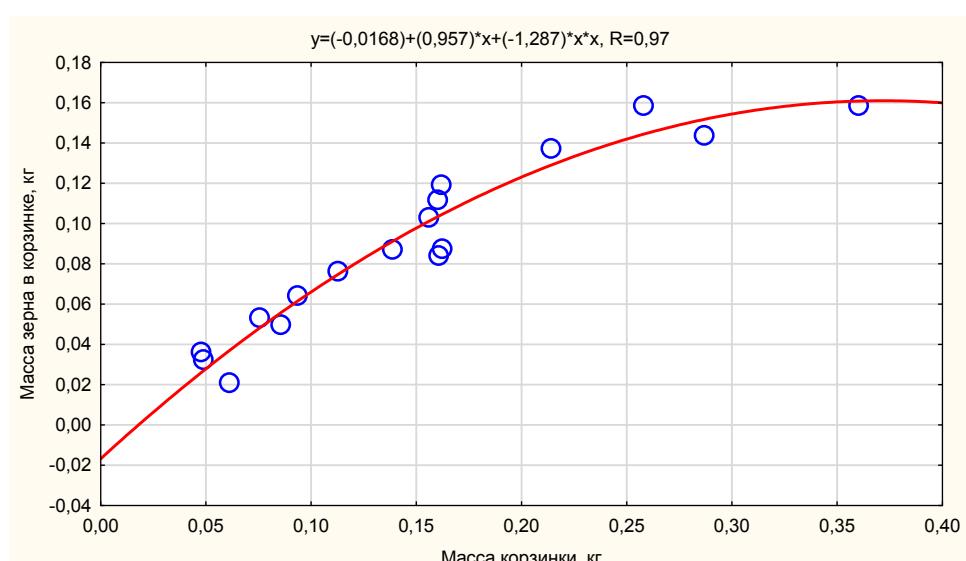


Рис. 7. Зависимость массы зерна в корзинке от массы корзинки

Проведенный анализ данных позволил установить низкозначимую связь средней массы зерна в корзинке от количества всходов в виде уравнений:

$$\text{Мз/к} = 0,217 - 0,034 \text{ Квсх}, R^2 = 0,44. \quad (3)$$

Анализ показывает, что с увеличением нормы высева семян от 45 тыс. до 55 тыс. шт/га биологическая урожайность подсолнечника увеличивается в среднем на 1,5 ц/га, а с увеличением уровня плодородия поля от пониженного до повышенного – на 1,1 ц/га. Одновременное увеличение нормы высева и уровня плодородия приводило к выраженному отрицательному эффекту: урожайность снижалась на 6,0 ц/га. Это свидетельствует о том, что в данных условиях лимитирующими факторами, вероятнее всего, являлись доступность питательных элементов и влагообеспеченность почвы.

Заключение

Предложена методика построения электронных карт-заданий для дифференцированного посева сельскохозяйственных культур, и разработан алгоритм мониторинга и прогнозирования урожайности с помощью беспилотных летательных аппаратов.

При реализации системы дифференцированных мероприятий необходимо учитывать пространственную мозаичность агрофона даже в пределах одного поля, технологические особенности возделывания различных культур, а также текущий уровень обеспеченности растений влагой и питательными веществами. Мониторинг состояния посевов с помощью БПЛА позволил оперативно контролировать этапы роста и развития культур, плотность посевов, эффективность применения сельскохозяйственной техники и контроль выполнения технологических операций при дифференциированном подходе.

Библиографический список

- Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России / Е. В. Рудой, М. С. Петухова, С. В. Рюмкин [и др.]. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. – 138 с. – Текст: непосредственный.
- Xu, B., Fan, J., Chao, J., et al. (2023). Instance segmentation method for weed detection using UAV imagery in soybean fields. *Computers and Electronics in Agriculture*. 211. 107994. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107994.
3. Альберт, М. А. Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в лесостепи Новосибирского Приобья / М. А. Альберт, Р. Р. Галеев, Е. А. Ковалев. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-63-2-4-10. – Текст: непосредственный // Вестник НГАУ. – 2022. – № 2 (63). – С. 4-10.
4. Артемьев, А. А. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы / А. А. Артемьев, А. М. Гурьянов. – DOI 10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377. – Текст: непосредственный // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 3. – С. 369-377.
5. Астахов, В. С. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков. – Текст: непосредственный // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 133-136.
6. Применение геоинформационных систем и дифференцированного распределения семян и удобрений при посеве озимой пшеницы / Н. В. Бышов, Д. О. Олейник, И. Ю. Богданчиков [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2020. – № 4 (48). – С. 92-97.
7. Эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений при посеве на участках с разной глубиной залегания гумуса / В. А. Милюткин, М. А. Канаев, Р. Х. Баймишев, К. А. Кузнецова. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-89-3-108-112. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3 (89). – С. 108-112.
8. Мыслыва, Т. Н. Создание менеджмент-зон для целей землеустройства при внедрении элементов системы точного земледелия / Т. Н. Мыслыва, О. А. Куцаева. – Текст: непосредственный // Вестник БГСХА. – 2020. – № 1. – С. 144-153.
9. Шерстобитов, С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири /

С. В. Шерстобитов. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 5 (91). – С. 22-26.

10. Моделирование урожайности яровой пшеницы при дифференцированном посеве и внесении минеральных удобрений / В. И. Беляев, Д. Н. Пирожков, А. В. Тагильцев, Л. В. Соколова. – Текст: непосредственный // Дальневосточный аграрный вестник. – 2025. – Т. 19, № 1. – С. 5-16.

11. Шпанев, А. М. Эффективность дифференцированного применения гербицидов в посевах озимой пшеницы / А. М. Шпанев, В. В. Смук. – Текст: непосредственный // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 4. – С. 25-27.

12. Изучение аgroэкологической эффективности дифференцированного применения многокомпонентных гербицидов нового поколения на посевах яровых зерновых культур / Р. М. Гафуров, В. М. Рахимов, В. А. Цимбалова [и др.]. – Текст: непосредственный // АгроЭкоИнфо. – 2012. – № 1 (10). – С. 5.

13. Разработка стратегии дифференцированного внесения удобрений с использованием данных дистанционного зондирования земли / Г. Д. Кадырова, А. И. Лагутина, А. С. Пономарев [и др.]. – Текст: непосредственный // Управление рисками в АПК. – 2021. – № 1 (39). – С. 46-59.

14. Изменение урожайности зерновых культур при дифференцированном внесении минеральных удобрений / М. Р. Ахметзянов, Ф. Н. Галлямов, А. В. Шарафутдинов, Р. Ш. Аблеев. – Текст: непосредственный // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (65). – С. 107-112.

15. Крапчина, Л. Н. Применение беспилотной авиации при дифференцированном внесении минеральных удобрений как перспективное направление инновационного развития малого агробизнеса / Л. Н. Крапчина, Е. Г. Куликова, Г. И. Юскаева. – Текст: непосредственный // Экономика и предпринимательство. – 2024. – № 11 (172). – С. 994-998.

16. Динамика NPK при дифференциированном внесении минеральных удобрений в режиме off-line / Д. В. Чикишев, Н. В. Абрамов, Н. С. Ларина, С. В. Шерстобитов. – Текст: непосред-

ственный // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 10. – С. 61-66.

17. О перспективах прецизионного управления продуктивностью пшеницы в условиях Северного Казахстана / Б. Р. Ирмулатов, К. К. Абдуллаев, А. А. Комаров, В. В. Якушев. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственная биология. – 2021. – Т. 56, № 1. – С. 92–102.

18. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов. – Текст: непосредственный // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1928. – Вып. 20. – С. 165-177.

References

- Rudoy, E. V. Nauchno-obosnovannyy prognoz razvitiya tochnogo zemledeliya v Rossii / E. V. Rudoy, M. S. Petukhova, S. V. Ryumkin, E. V. Truflyak, N. Yu. Kurchenko. – Novosibirsk: ITS NGAU "Zolotoy kolos", 2021. – 138 s.
- Xu, B., Fan, J., Chao, J., et al. (2023). Instance segmentation method for weed detection using UAV imagery in soybean fields. *Computers and Electronics in Agriculture*. 211. 107994. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107994.
- Albert, M. A. Sovrshennstvovanie tekhnologii differentsirovannogo vneseniya udobreniy v lesostepi Novosibirskogo Priobya / M. A. Albert, R. R. Galeev, E. A. Kovalev // Vestnik NGAU. – 2022. – No. 2 (63). – S. 4–10. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-63-2-4-10.
- Artemev, A. A. Differentsirovannoe primenenie mineralnykh udobreniy pri vozdelyvaniyu sudanskoy travy / A. A. Artemev, A. M. Guryanov // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2022. – T. 23, No. 3. – S. 369–377. – DOI 10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377.
- Astakhov, V. S. Problemy primeneniya sistem tochnogo zemledeliya pri differentsirovannom vnesenii tverdykh mineralnykh udobreniy i puti ikh resheniya / V. S. Astakhov, G. O. Ivanchikov // Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2022. – No. 1. – S. 133–136.
- Byshov, N. V. Primenenie geoinformatsionnykh sistem i differentsirovannogo raspredeleniya semyan i udobreniy pri poseve ozimoy pshenitsy / N. V. Byshov, D. O. Oleynik, I. Yu. Bogdanchikov, A. N. Bachurin, N. V. Lipatov // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnolog-

icheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva. – 2020. – No. 4 (48). – S. 92–97.

7. Milyutkin, V. A. Effektivnost differentsirovannogo vneseniya mineralnykh udobreniy pri poseve na uchastkakh s raznoy glubinoy zaleganiya guma-sa / V. A. Milyutkin, M. A. Kanaev, R. Kh. Baymishev, K. A. Kuznetsov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 3 (89). – S. 108–112. – DOI 10.37670/2073-0853-2021-89-3-108-112.

8. Myslyva, T. N. Sozdanie menedzhment-zon dlya tseley zemleustroystva pri vnedrenii elementov sistemy tochnogo zemledeliya / T. N. Myslyva, O. A. Kutsaeva // Vestnik BGSKHA. – 2020. – No. 1. – S. 144–153.

9. Sherstobitov, S. V. Effektivnost differentsirovannogo vneseniya azotnykh udobreniy v rezhime off-line v usloviyakh Zapadnoy Sibiri / S. V. Sherstobitov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 5 (91). – S. 22–26.

10. Belyaev, V. I. Modelirovanie urozhaynosti yarovykh pshenitsy pri differentsirovannom poseve i vnesenii mineralnykh udobreniy / V. I. Belyaev, D. N. Pirozhkov, A. V. Tagiltsev, L. V. Sokolova // Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. – 2025. – T. 19, No. 1. – S. 5–16.

11. Shpanev, A. M. Effektivnost differentsirovannogo primeneniya gerbitsidov v posevakh ozimoy pshenitsy / A. M. Shpanev, V. V. Smuk // Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. – 2020. – No. 4. – S. 25–27.

12. Gafurov, R. M. Izuchenie agroekologicheskoy effektivnosti differentsirovannogo primeneniya mnogokomponentnykh gerbitsidov novogo pokoleniya na posevakh yarovykh zernovykh kultur / R. M. Gafurov, V. M. Rakhimov, V. A. Tsimbalova, V. G. Bezuglov, G. D. Gogmachadze, A. A. Kurganov // AgroEkolInfo. – 2012. – No. 1 (10). – S. 5.

13. Kadyrova, G. D. Razrabotka strategii differentsirovannogo vneseniya udobreniy s ispolzovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli / G. D. Kadyrova, A. I. Lagutina, A. S. Ponomarev, T. Yu. Reshetnikova, V. N. Yaku-

sheva // Upravlenie riskami v APK. – 2021. – No. 1 (39). – S. 46–59.

14. Akhmetzyanov, M. R. Izmenenie urozhaynosti zernovykh kultur pri differentsirovannom vnesenii mineralnykh udobreniy / M. R. Akhmetzyanov, F. N. Gallyamov, A. V. Sharafutdinov, R. Sh. Ableev // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 1 (65). – S. 107–112.

15. Krapchina, L. N. Primenenie bespilotnoy aviatsii pri differentsirovannom vnesenii mineralnykh udobreniy kak perspektivnoe napravlenie innovatsionnogo razvitiya malogo agrobiznesa / L. N. Krapchina, E. G. Kulikova, G. I. Yuskaeva // Ekonomika i predprinimatelstvo. – 2024. – No. 11 (172). – S. 994–998.

16. Chikishev, D. V. Dinamika NPK pri differentsirovannom vnesenii mineralnykh udobreniy v rezhime off-line / D. V. Chikishev, N. V. Abramov, N. S. Larina, S. V. Sherstobitov // Agrarnyy nauchny zhurnal. – 2021. – No. 10. – S. 61–66.

17. Irmulatov, B. R. O perspektivakh pretzisionnogo upravleniya produktivnostyu pshenitsy v usloviyakh Severnogo Kazakhstana / B. R. Irmulatov, K. K. Abdullaev, A. A. Komarov, V. V. Yakshev // Selskokhozyaystvennaya biologiya. – 2021. – T. 56, No. 1. – S. 92–102.

18. Selyaninov, G. T. O selskokhozyaystvennoy otsenke klimata / G. T. Selyaninov // Trudy po selskokhozyaystvennoy meteorologii. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1928. – Vyp. 20. – S. 165–177.

Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета в рамках государственного задания Минсельхоза России (номер госрегистрации темы 1023032000002-5-4.1.1); программы развития ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» «Приоритет-2030».

Авторы выражают признательность научному сотруднику Института биофизики СО РАН (г. Красноярск) Ботевич Ирине Юрьевне за оказанную помощь в подготовке картографических материалов. Отдельные слова благодарности адресуются руководителю фермерского хозяйства ООО «Золотая осень» (Алейский район, Алтайский край) Рябцеву Вадиму Ивановичу, а также агроному Закреевскому Александру Константиновичу за их содействие и поддержку в процессе проведения исследований.

