

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.11>

**ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Научная статья

**Чурсин А.И.<sup>1,\*</sup>, Першина М.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-5877-5410;

<sup>1,2</sup> Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (ktkbr1322[at]yandex.ru)

**Аннотация**

В данной работе проанализирована работа беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), используемых для определения точности размеров земельных участков. Актуальность использования БПЛА в технологии точного земледелия весьма важна для составления и обновления данных о ландшафтах. Авторами проведен сравнительный анализ современных методов аэрофотосъемки на земельных участках сельскохозяйственного использования с использованием данных дистанционного зондирования. Сделаны выводы по вопросам как точность пространственного положения снимков геопозиционирования влияют на фотограмметрическую съемку земной поверхности с помощью БПЛА и в дальнейшем может являться основой проведения точного земледелия на сельскохозяйственных территориях.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА), эффективность использования, сельское хозяйство, агроландшафт, точное земледелие.

**APPLICATION OF UAVS IN PRECISION FARMING FOR EFFICIENCY OF AGRICULTURAL LAND USE**

Research article

**Chursin A.I.<sup>1,\*</sup>, Pershina M.Y.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-5877-5410;

<sup>1,2</sup> Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

\* Corresponding author (ktkbr1322[at]yandex.ru)

**Abstract**

This work analyses the performance of unmanned aerial vehicles (hereinafter referred to as UAVs) used to determine the accuracy of land plot sizes. The relevance of the use of UAVs in precision farming technology is very significant for compiling and updating landscape data. The authors have carried out a comparative analysis of modern methods of aerial photography on agricultural land plots using remotely sensed data. Conclusions are drawn on how the accuracy of the spatial position of geopositioning images affect the photogrammetric survey of the earth's surface using UAVs and further can be the basis for precision farming in agricultural areas.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAVs), efficiency of use, agriculture, agro-landscape, precision farming.

**Введение**

Точное земледелие – это новый этап развития агросферы, связанный с использованием геоинформационных систем. В настоящее время спутниковые снимки с высоким разрешением более широко используются для изучения в сельском хозяйстве, тем не менее наличие и часто высокие затраты на такие изображения предполагают альтернативный продукт для конкретного предложения в точном земледелии. В частности, изображения, сделанные платформами дистанционного зондирования (далее – ДЗ) с малой высотой БПЛА, являются потенциальной альтернативной, учитывая их низкую стоимость эксплуатации и мониторинге окружающей среды, высоким пространственным и временным разрешением, их высокой гибкостью при захвате изображений и программировании.

В мире было проведено несколько исследований по применению изображений БПЛА для точного земледелия, результаты которых указывают на то, что для обеспечения надежного конечного продукта для фермеров необходимы успехи в разработке платформ, производстве, стандартизации геопривязки изображений, а также в процессе обработки информации.

**Потенциал применения БПЛА в сельском хозяйстве**

Хотя практика по точному земледелию набирает популярность во всем мире [6], [7], использование методов ДЗ в сельском хозяйстве по-прежнему ограничено. Согласно исследованиям, системы GPS-навигации являются наиболее часто используемым методом точного земледелия. Однако применение других методов, включая технологию картирования (ГИС и ДЗ) было доказано, что оно значительно ниже.

По данным Stafford [6], основным драйвером точного земледелия является максимизация прибыли, и фермеры просто не уверены в экономических выгодах инвестирования в спутниковые снимки и другие пространственные продукты. Кроме того, необходимы навыки для пространственного анализа (создания карты на основе интегрированных источников данных), чего не хватает многим фермерам [3], [9]. Более того, неопределенность в отношении надежности карт урожайности для управления культурами еще больше снижает их воспринимаемую

ценность. Несмотря на то, что имеется несколько исследований прибыльности принятия точного земледелия [5], мало говорится об экономических преимуществах ДЗ БПЛА для точного земледелия [8].

В дополнение к отсутствию информации для фермеров относительно использования БПЛА, в предыдущих исследованиях на базе БПЛА использовались экспериментальные поля для сельскохозяйственных культур. Эти культивирования пахотных земель были специально разработаны для обеспечения идеальной культуры для экспериментов по ДЗ.

Таким образом, в настоящее время не представляется правдоподобным оценить целесообразность использования полученных БПЛА изображений фермеров в более реалистичных условиях. Однако было показано, что использование модели участия на уровне сообщества было очень успешным с использованием снимков Landsat высокого разрешения [4]. Для БПЛА это может указывать на то, что текущие исследования практически не оказывают прямого воздействия на потенциальное применение фермерами геопространственных методов в своей практике.

## Основные результаты

### 3.1. Пример использования БПЛА в сельском хозяйстве

Задача состоит в выявлении всхожести растений и подсчета количества всходов на примере: подсолнечника.

Результат: по причине низкого качества работы высевяющих комплексов расстояние между всходами было нестабильное, присутствовало большое количество пропусков и двойников. Сингуляция составляла 86%. Это было обнаружено и автоматически посчитано после мониторинга с беспилотника Альбатрос М5.

Затраты: 100 кв км\* (4000 + 2000 + 2000) (полеты + ОФП + векторизация М 1:2000) = 800 тыс. р.

Экономическая эффективность: в результате после переоборудования и настройки высевяющих комплексов в следующем сезоне удалось значительно повысить качество посевов и получить сингуляцию всходов 98%. Это обеспечило прибавку к урожайности 8%.

Чистая прибыль 55 млн. руб.

### 3.2. Способы извлечения информации из изображений БПЛА

Подобно спутниковым изображениям и аэрофотоснимкам изображения БПЛА могут применяться в зональном картографировании, используемом для количественной оценки биологических переменных и используемых для выявления аномалий в пахотных землях.

Зональное отображение может быть ключевым компонентом точного земледелия, поскольку необходима точная информация о пространственных изменениях почвы и посевов. Одним из наиболее распространенных методов зонального картирования почв является выборка грунта физических и химических свойств на основе сетки, которая потом может использоваться для пространственной интерполяции. Тем не менее в некоторых странах, например, Австралия, была разработана стратегия отбора проб почвы. Исследования показали, что данные об урожайности с аэрофотоснимков оказывались более точными, чем от традиционной геостатистической интерполяции и карт почвенного обследования. Такие карты использовались в качестве входных данных для процедур применения удобрений и других методов. Однако данные из мониторов выхода могут содержать множество источников ошибок. Следовательно, спутниковые снимки высокого разрешения были применены в качестве альтернативы для мониторинга состояния растительности и почвы. Например, была создана зональная карта с использованием NDVI (см. рис. 1), основанной на IKONOS, и было показано, что она значительно дешевле, чем карты, созданные из образцов на основе сетки. Исследователи обнаружили, что между классификационными картами, полученными из карт ДЗ и производства, наблюдаются высокие показатели корреляции. Поэтому процедура создания зональной карты, основанная на изображениях БПЛА, может предоставить чрезвычайно важную информацию для фермеров.

Цветовая шкала индекса NDVI



Рисунок 1 - Цветовая шкала индекса NDVI  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.11.1>

Также на сегодняшний день полученные снимки с использованием БПЛА были успешно использованы для оценки степени использования кустарников, картирования видов трав, лесных пожаров, измерения кустарниковой биомассы, для помощи в управлении виноградниками и для картирования растительности пастбищных угодий. Что же касается сельского хозяйства, то они были использованы для обнаружения небольших пастбищных сорняков в пастбищных

угодьях, изучения различных обработок азота на культурах и др. БПЛА также использовались для оценки ирригационных систем в полевом масштабе (см. рис. 2).

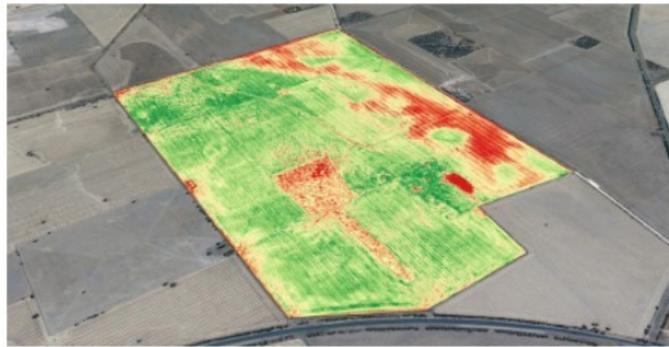


Рисунок 2 - Оценка состояния ирригационной системы поля

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.11.2>

### 3.3. Геопозиционирование изображения

Элементы внешнего ориентирования снимков, необходимые для их фотограмметрической обработки, определяются, в основном, методом косвенного геопозиционирования, то есть путем получения и сопоставления изображений с SfM, измерения координат связующих и опорных точек и запуска блочной фототриангуляции – Bundle Block Adjustment (BBA) [10]. Выбор и измерение координат опорных точек с помощью GNSS-аппаратуры в большинстве случаев происходит быстро и эффективно, но, как правило, это не так в местностях с густой невысокой растительностью или в лесных районах.

За более чем десятилетие появилось множество надежных фотограмметрических рабочих процессов, позволяющих автоматически находить соответственные точки на нескольких аэрофотоснимках и использовать эти наблюдения на заключительном этапе уточнения – уравнивании блока связок. В популярном программном обеспечении для идентификации связующих точек используются стандартные методы на основе площадей или методы на основе признаков (SIFT, SURF и т. д.) в сочетании с надежными оценками для исключения возможных неправильных соответствий.

Точность традиционного прямого геопозиционирования снимков с БПЛА зависит от эффективности приемника GNSS. Классический метод косвенного геопозиционирования – фототриангуляционные построения с использованием опорных точек – достигает точности 2 см, проверенных с использованием независимых контрольных точек. (см. рис. 3).

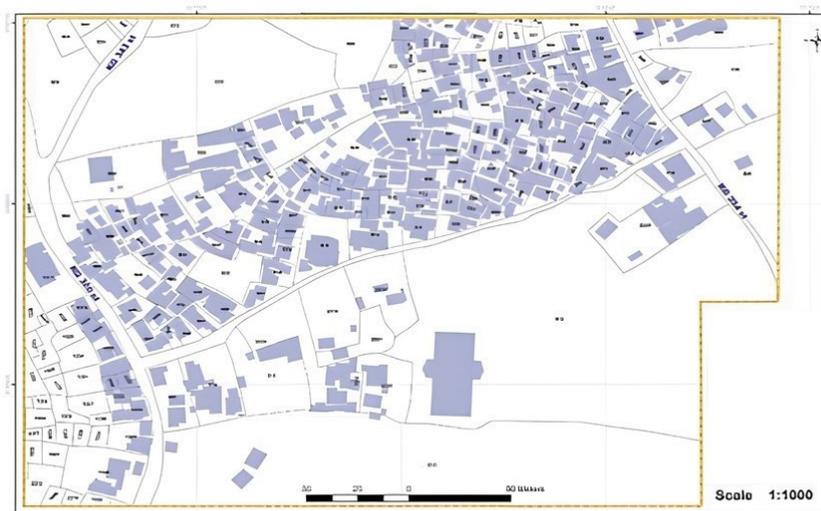


Рисунок 3 - Созданный кадастровый и топографический планы масштаба 1:1000  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.11.3>

### Обсуждение

БПЛА платформы представляют собой привлекательные альтернативные методы картографирования небольших площадей с разрешением в несколько сантиметров, достаточным для точного земледелия. Аэрофотоснимки, полученные с БПЛА, должны иметь точную геопривязку. Типичная аэрофотограмметрическая съёмка с БПЛА проводится вдоль линейных контуров местности. Часто используется аэротриангуляция, при которой фотоснимки объединяются в фотомозаику посредством так называемых связующих точек. Данные трехмерной модели в пространстве объектов получены с использованием нескольких наземных опорных точек (GCP) (см. рис. 4). Эти точки ограничивают модельные искажения, связанные с накоплением погрешностей, и используются для контроля качества.

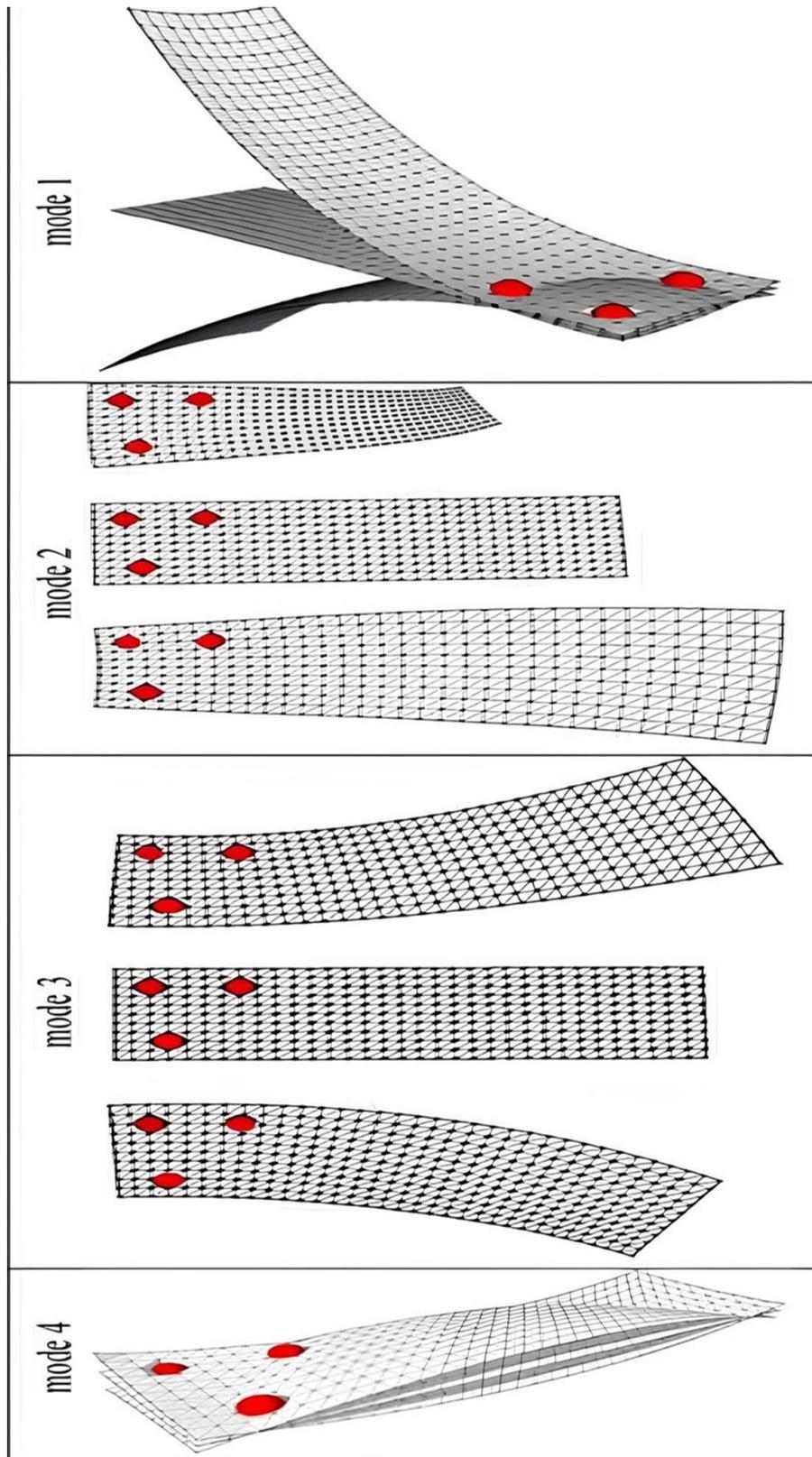


Рисунок 4 - Первые четыре режима моделируемой сети с неоптимально размещенными опорными точками  
 DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.11.4>

*Примечание: опорные точки отмечены красным*

Точность определения пространственного положения снимков – геопозиционирования – влияет на погрешности их фотограмметрической обработки и, как итог, на точность создаваемых цифровых моделей земной поверхности. По снимкам, полученным с беспилотных летательных аппаратов, возможно создание цифровых моделей земной поверхности высокого разрешения с точностью выше 10 см. Из этого следует что применение ПБЛА непосредственно в некоторых случаях могут упростить процесс проведения точного земледелия на сельскохозяйственных территориях

**Заклучение**

Точность определения пространственного положения снимков – геопозиционирования – влияет на погрешности их фотограмметрической обработки и, как итог, на точность создаваемых цифровых моделей земной поверхности. По снимкам, полученным с беспилотных летательных аппаратов, возможно создание цифровых моделей земной поверхности высокого разрешения с точностью выше 10 см. Из этого следует, что применение ПБЛА непосредственно в некоторых случаях могут упростить процесс проведения точного земледелия на сельскохозяйственных территориях.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Российская Федерация. Законы. Земельный кодекс Российской Федерации: федер. закон: [от 25.10. 2001 N 136-ФЗ]. — 2019. — С. 4147.
2. Griffin T.W. Adoption, profitability, and making better use of precision farming data / T.W. Griffin, J. Lowenberg-DeBoer, D.M. Lambert [et al.] — West Lafayette: Department of Agricultural Economics, Purdue University, 2004. — №. 04-06
3. Silva C.B. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: A case study / C.B. Silva, S.R. Vale, F.C. Pinto [et al.] // Precision Agriculture. — 2007. — Vol. 8. — P. 255-265.
4. Seelan S.K. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach / S.K. Seelan, S. Laguette, G.M. Casady [et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2003. — Vol 88. — P. 157-169.
5. Stafford J.V. Implementing precision agriculture in the 21st century / J.V. Stafford // Journal of Agricultural Engineering Research. — 2000. — Vol. 76. — P. 267-275.
6. Robertson M. The economic benefits of precision agri-culture: cast studies from Australia grain farms / M. Robertson, P. Carberry, L. Brennan // Controlled Traffic and Precision Agriculture Conference. — 2007. — P. 181-187.
7. Tenkorang F. On-farm profitability of remote sensing in agriculture / F. Tenkorang, L. DeBoer // Journal of Terrestrial Observation. — 2007. — Vol. 1. — P. 50-59.
8. Fisher P.D. Advances in precision agri-culture in south-eastern Australia. L. A regression methodology to simulate spatial variation in cereal yields using farmers' historical paddock yields and normalised difference vegetation index / P.D. Fisher, M. Abuzar, M.A. Rab [et al.] // Crop & Pasture Science. — 2009
9. Forlani G. Indirect UAV strip georeferencing by on-board GNSS data under poor satellite coverage / G. Forlani [et al.] // Remote Sens. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. — 2019. — Vol. 11. — № 15. — P. 1765.
10. Беспилотники в сельском хозяйстве. — URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/besplotniki-v-selskom-khozyaystve/> (дата обращения: 12.03.2024)
11. Амр М.А.Е. Разработка методики использования материалов, полученных с БПЛА, для картографирования линейных объектов: дис. ... канд. тех. наук / Амр Махмуд Абдалла Елшештави. — Москва, 2022.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Rossijskaja Federacija. Zakony. Zemel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii: feder. zakon: [ot 25.10. 2001 N 136-FZ] [Russian Federation. Laws. Land Code of the Russian Federation: federal law: [from 25.10. 2001 N 136-FZ]]. — 2019. — P. 4147. [in Russian]
2. Griffin T.W. Adoption, profitability, and making better use of precision farming data / T.W. Griffin, J. Lowenberg-DeBoer, D.M. Lambert [et al.] — West Lafayette: Department of Agricultural Economics, Purdue University, 2004. — №. 04-06
3. Silva C.B. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: A case study / C.B. Silva, S.R. Vale, F.C. Pinto [et al.] // Precision Agriculture. — 2007. — Vol. 8. — P. 255-265.
4. Seelan S.K. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach / S.K. Seelan, S. Laguette, G.M. Casady [et al.] // Remote Sensing of Environment. — 2003. — Vol 88. — P. 157-169.
5. Stafford J.V. Implementing precision agriculture in the 21st century / J.V. Stafford // Journal of Agricultural Engineering Research. — 2000. — Vol. 76. — P. 267-275.
6. Robertson M. The economic benefits of precision agri-culture: cast studies from Australia grain farms / M. Robertson, P. Carberry, L. Brennan // Controlled Traffic and Precision Agriculture Conference. — 2007. — P. 181-187.
7. Tenkorang F. On-farm profitability of remote sensing in agriculture / F. Tenkorang, L. DeBoer // Journal of Terrestrial Observation. — 2007. — Vol. 1. — P. 50-59.
8. Fisher P.D. Advances in precision agri-culture in south-eastern Australia. L. A regression methodology to simulate spatial variation in cereal yields using farmers' historical paddock yields and normalised difference vegetation index / P.D. Fisher, M. Abuzar, M.A. Rab [et al.] // Crop & Pasture Science. — 2009
9. Forlani G. Indirect UAV strip georeferencing by on-board GNSS data under poor satellite coverage / G. Forlani [et al.] // Remote Sens. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. — 2019. — Vol. 11. — № 15. — P. 1765.

10. Беспилотники в сельском хозяйстве [UAVs in agriculture]. — URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/bespilotniki-v-selskom-khozyaystve/> (accessed: 12.03.2024) [in Russian]
11. Amr M.A.E. Razrabotka metodiki ispol'zovanija materialov, poluchennyh s BPLA, dlja kartografirovanija linejnyh ob#ektov [Development of a methodology for the use of UAV data for mapping linear objects]: dis. ... PhD in Technical Sciences / Amr Mahmud Abdalla Elsheshtavi. — Moscow, 2022. [in Russian]