

Научная статья

Original article

УДК 004.932.2+632.08

DOI 10.55186/25880209\_2024\_8\_6\_11

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И  
СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В  
ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

REMOTE SENSING AND SENSOR TECHNOLOGIES APPLICATION FOR  
DATA COLLECTION AND PROCESSING IN PRECISION AGRICULTURE



**Митрофанов Евгений Павлович**, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (195220 Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14), доцент кафедры технологии программирования, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (199034 Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1967-5126>, e.mitrofanov@spbu.ru

**Митрофанова Ольга Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии программирования, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (199034 Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-4727>, o.a.mitrofanova@spbu.ru

**Evgenii P. Mitrofanov**, candidate of technical sciences, junior researcher, Agrophysical Research Institute (14 Grazhdansky ave., St. Petersburg, 195220 Russia), associate professor of the Department of Programming Technology, St.

Petersburg State University (7-9 Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1967-5126>, e.mitrofanov@spbu.ru

**Olga A. Mitrofanova**, candidate of technical sciences, associate professor of the  
Department of Programming Technology, St. Petersburg State University (7-9  
Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034 Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-4727>, o.a.mitrofanova@spbu.ru

**Аннотация.** В настоящее время для решения задач точного земледелия всё чаще используются методы искусственного интеллекта, при этом, как и ранее, ощущается дефицит качественной размеченной исходной информации. Часто исследователям приходится синтезировать данные, расширяя искусственно датасеты из-за ограниченных ресурсов для обучения моделей. При этом эффективность и точность проводимых научных вычислительных экспериментов напрямую зависят от исходных данных. В связи с чем возникает необходимость в разработке комплекса подходов и инструментария для оперативного сбора и предварительной обработки данных в точном земледелии. В данном исследовании были выбраны два направления: применение дистанционного зондирования и сенсорные технологии. Объектами исследования являются опытные сельскохозяйственные поля, расположенные в Ленинградской области, где ежегодно осуществляется сбор наземных измерений агроэкологических параметров, а также закладка тестовых площадок. Для аэрофотосъемки применялись две беспилотные авиационные системы: на базе Геоскан-401 и DJI Matrice. В ходе исследования были выработаны подходы для сбора и предварительной обработки мультиспектральных и гиперспектральных аэрофотоснимков в задачах точного земледелия, создания многослойных специализированных датасетов. При этом помимо предобработанных геопривязанных ортофотопланов были отработаны алгоритмы создания дополнительных векторных слоев с соответствующей разметкой (на базе наземных измерений). В качестве второго направления сбора информации, отражающей состояние сельскохозяйственного поля, был разработан прототип беспроводной сенсорной сети: предложена архитектура сенсорного узла, а также

базовой станции. Прототипные решения были реализованы и предварительно протестированы. Определены основные задачи в качестве направлений развития работы.

**Abstract.** Currently, artificial intelligence methods are increasingly being used to solve precision agriculture problems, while, as before, there is a shortage of high-quality labeled source information. Researchers often have to synthesize data by artificially expanding datasets due to limited resources for training models. At the same time, the effectiveness and accuracy of scientific computational experiments directly depend on the initial data. Therefore, there is a need to develop a set of approaches and tools for the rapid collection and pre-processing of data in precision agriculture. In this study, two directions were chosen: the use of remote sensing and sensor technologies. The objects of the study are experimental agricultural fields located in the Leningrad region, where ground-based measurements of agroecological parameters are collected annually, as well as the laying of test sites. Two unmanned aerial systems were used for aerial photography: based on Geoscan-401 and DJI Matrice. In the course of the study, approaches were developed for the collection and preprocessing of multispectral and hyperspectral aerophotos in precision agriculture, the creation of multi-layered specialized datasets. At the same time, in addition to preprocessed geo-linked orthophotomaps, algorithms for creating additional vector layers with appropriate markings (based on ground measurements) were worked out. As a second direction of collecting information reflecting the state of the agricultural field, a prototype of a wireless sensor network was developed: the architecture of the sensor node, as well as the base station, was proposed. Prototype solutions have been implemented and pre-tested. The main tasks have been identified as areas of work development.

**Ключевые слова:** *дистанционное зондирование, аэрофотосъемка, беспроводные сенсорные сети, точное земледелие, датасеты, мультиспектральная съемка, гиперспектральная съемка.*

**Keywords:** *remote sensing, aerial photography, wireless sensor networks, precision agriculture, datasets, multispectral photography, hyperspectral photography.*

## **Введение**

Одним из приоритетных направлений научно-технологического развития в России, а в частности и в Санкт-Петербурге, является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий. Одним из основных элементов этого перехода представляется точное земледелие (ТЗ), подходы которого позволяют достигать более высокого качества и объема выращиваемой продукции [1-3]. Кроме того, за счет разумного распределения ресурсов снижаются экономические затраты [4] и вредное воздействие на окружающую среду [5].

Всё более актуальными и перспективными при решении задач ТЗ, связанных с определением обеспеченности растений питательными веществами, представляются методы искусственного интеллекта, среди которых методы кластеризации с обучением и без [6, 7], геостатистика [8, 9], распознавание образов [10, 11] и т.д. В последние годы многие группы ученых стали также применять методы глубокого обучения (нейросетевые технологии) [12, 13]. Эти подходы представляют высокий интерес и с коммерческой точки зрения, наиболее востребованные программные продукты в сельскохозяйственной отрасли созданы с применением современных методов искусственного интеллекта (ИИ).

Среди технологий, применяемых для оперативного сбора агроэкологических данных, выделяются дистанционное зондирование и применение сенсоров. В исследованиях широко применяются как спутниковые [14], так и аэрофотоснимки [15] для решения широкого круга задач. В последние годы перспективными направлениями становятся также задачи, использующие мультиспектральную [16] и гиперспектральную съемки [17]. Востребованным также представляется использование датчиков, образующих единую беспроводную сеть на сельскохозяйственном поле [18], позволяющих в режиме реального получать актуальную информацию об агрофизических показателях почвы.

Однако, как и раньше, сейчас в задачах, использующих методы искусственного интеллекта, ощущается дефицит качественной размеченной исходной информации. Часто исследователям приходится синтезировать данные, расширяя искусственно датасеты из-за ограниченных ресурсов для обучения моделей. При этом эффективность и точность проводимых научных вычислительных экспериментов (особенно с использованием современных методов ИИ) напрямую зависят от исходных данных.

Таким образом, существует необходимость в разработке комплекса подходов и инструментария для оперативного сбора и предварительной обработки данных в точном земледелии с применением дистанционного зондирования и сенсорных технологий.

### **Объекты и методы**

Объектами исследования являются опытные сельскохозяйственные поля, расположенные в Ленинградской области. В основном на территории биополигона выращиваются такие культуры, как пшеница, овес, ячмень, многолетние травы, картофель. Ежегодно различные научные группы проводят экспериментальные опыты на полях, в том числе с использованием так называемых тестовых площадок – небольшие ровные участки, где формируются определенные условия для развития растений (например, на полосе площадок вносится различный уровень азотсодержащих удобрений, создавая таким образом набор эталонов).

Для аэрофотосъемки применялись две беспилотные авиационные системы (БАС) (рис. 1):

- на базе квадрокоптера Геоскан-401 (высота полетов – 50-80 м, пространственное разрешение съемки – 2-7 см/пиксель), полезная нагрузка: мультиспектральная камера Micasense Rededge MX (пять каналов съемки: красный, зеленый, синий, ближний инфракрасный, красный край);
- на базе гексакоптера DJI Matrice 600 Pro (высота полетов – 50-80 м, пространственное разрешение съемки – 7-10 см/пиксель), полезная нагрузка: гиперспектральная камера Resonon Pika L (281 канал съемки в диапазоне 400-1000 нм).

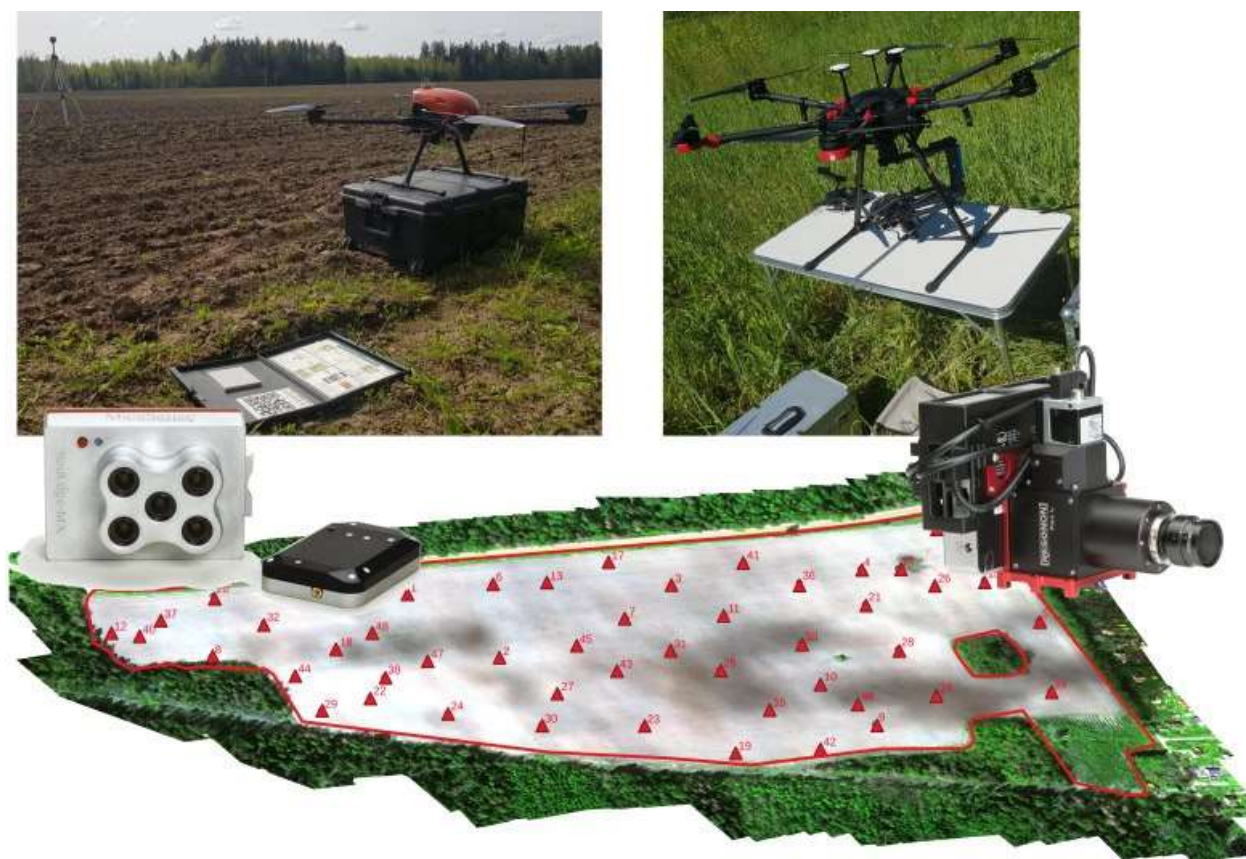


Рис. 1. Используемое для аэрофотосъемки оборудование

Координатная привязка опытной территории осуществлялась с высокой точностью (погрешность в пределах 6 см) с помощью GNSS (Global navigation satellite system) системы, состоящей из базового элемента и ровера RTK Emlid.

Для разработки прототипа беспроводной сенсорной сети (БСС) был осуществлен обзор существующих решений, выделены наиболее релевантные компоненты для поставленной задачи, обеспечивая два основных требования к реализации: дешевизна и оптимальное время работы в полях.

### Результаты и обсуждение

Для применения в задачах точного земледелия были выработаны следующие этапы предварительной обработки собранных аэрофотоснимков:

- мозаика исходных мультиспектральных изображений выравнивалась, склеивалась, выполнялось построение плотного облака точек для каждой мозаики и, на его основе, ортофотоплана с геопространственной привязкой;

- дополнительно при необходимости для мозаики выполнялось построение цифровой модели рельефа местности;
- создавались дополнительные векторные слои в программе QGIS: точки (в случае точечных геопривязанных наземных измерений, каждой точке в качестве атрибута записывалась величина показателя, например, влажность почвы) и полигоны (выделялись тестовые площадки, и каждой площадке в качестве атрибута записывалось значение исследуемого фактора, например, доза азота);
- на основе предобработанных мультиспектральных снимков, а также созданных векторных слоев, формировались специализированные многослойные геопривязанные датасеты;
- гиперспектральные исходные снимки обрабатывались с помощью программы Spectronon, выполнялась калибровка по полотну, извлекались средние значения спектральных характеристик (в 281 канале) по интересующим полигонам (тестовым площадкам) и экспортировались в единую табличку.

Для расширения датасетов, имеющих наземную разметку, повышения качества информации для последующего применения методов ИИ, в 2023-2024 гг. дополнительно были собраны наземные образцы по точкам, распределенным по территории опытного сельскохозяйственного поля. Были отобраны для агрохимического анализа образцы почвы и растений пшеницы на каждой фазе вегетации. Дополнительно также измерялись агрофизические характеристики почвы с помощью наземных ручных датчиков. На рис. 2 представлен пример маршрута по геопривязанным точкам для отбора проб.

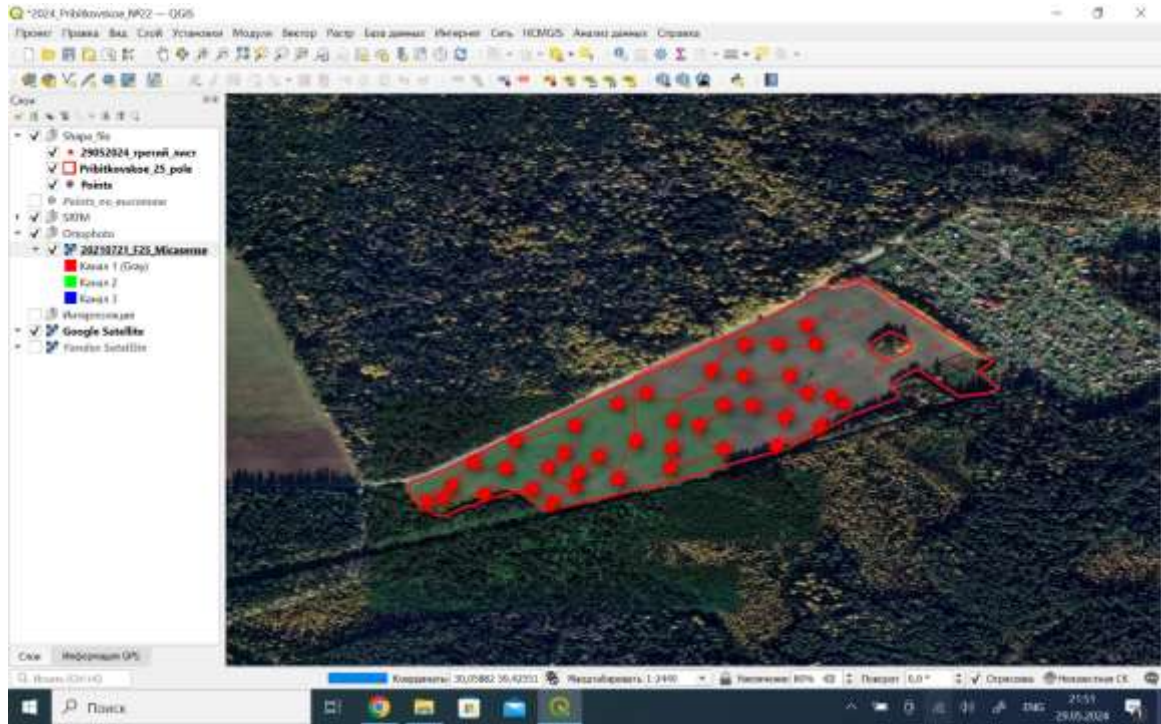


Рис. 2. Пример маршрута научной группы по точкам при отборе образцов в рамках полевого опыта 2024 года

В качестве второго перспективного подхода к оперативному сбору агроэкологических данных были выбраны беспроводные сенсорные технологии. Они позволяют получать агрофизические показатели почвы в динамике в режиме реального времени для последующего принятия эффективных управленческих решений. На рис. 3 представлена архитектура разрабатываемой БСС. Предполагается, что датчики будут распределены по однородным зонам сельскохозяйственного поля, сохранять информацию в своих картах памяти, при установке связи с базовой станцией – передавать сохраненные данные, после чего они загружаются в облачную систему и веб-модуль обработки.



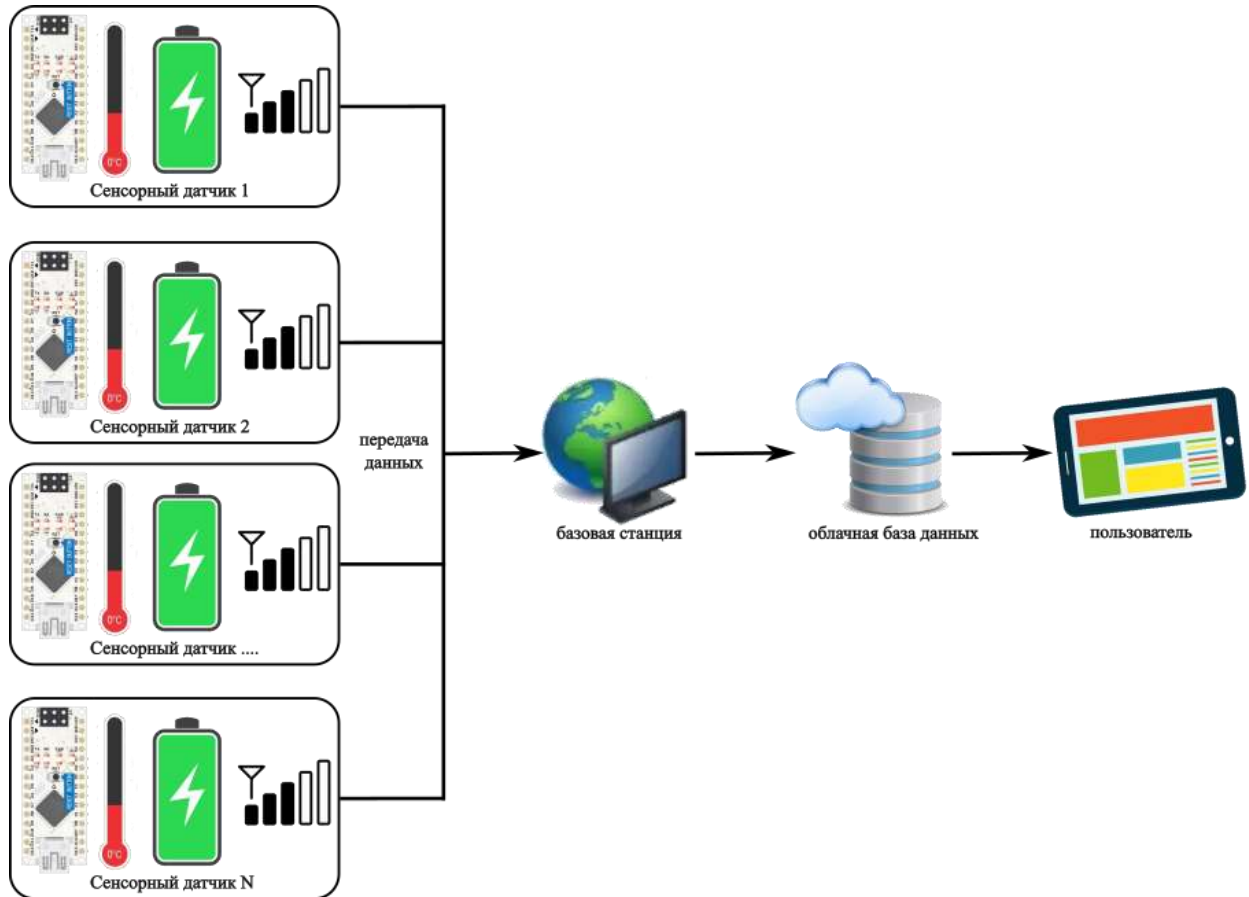


Рис. 3. Архитектура разрабатываемой сенсорной сети

Основная задача в этом направлении исследования состояла в разработке прототипа узла сенсорной сети так, чтобы он удовлетворял двум основным требованиям: дешевизна и оптимальное время работы. В состав датчика, на основе проведенного обзора существующих решений, были включены следующие элементы:

- сенсоры (датчики температуры и влажности для прототипа);
- процессор;
- модуль памяти;
- модуль связи;
- источник питания;
- модуль времени.

В сенсорном узле выставляется таймер для проведения измерений, в определенный момент времени опрашиваются датчики температуры и влажности, собранные данные передаются на базовую станцию, однако при

отсутствии связи с ней полученная информация записывается в модуль памяти до восстановления связи. Базовая станция состоит из следующих элементов:

- процессор;
- модуль связи с узлами:
- GSM модуль;
- источник питания;
- модуль памяти.

Настройки базовой станции также предусматривают включение по таймеру для получения данных с датчиков и передачи собранной информации через GSM в облачное хранилище, к которому пользователь будет иметь доступ через веб-приложение.

На основе предварительных требований был разработан прототип сенсорного узла, в котором предусмотрено измерение следующих параметров каждый час: температура, влажность, кислотность и электропроводность почвы; а также температура, влажность, атмосферное давление над почвой. Каждая запись данных закодирована и занимает 5 байт, при этом модуль памяти EEPROM рассчитан на 1 Кб, дополнительная память также предусмотрена на модуле часов – 4 Кб. Соответственно, количество эффективных записей данных составляет примерно 204 записи на EEPROM Arduino и 816 записей на часах. Разработанная архитектура расширяема и позволяет подключать дополнительные сенсоры.

Общая схема прототипа узла представлена на рис. 4:

1. Arduino Nano – микропроцессор для выполнения кода управления сенсорами в узле.
2. E22-900T22D — беспроводной модуль Lora 868 МГц для передачи данных на расстояние до 5 км.
3. DHT11 - цифровой датчик влажности и температуры.
4. DS18B20 — датчик температуры, диапазон измерений от -55°C до +125°C.
5. Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2 — емкостный датчик влажности почвы.
6. Battery 6AA — корпус для 6 батареек.

## 7. DS3231 — часы реального времени с дополнительной памятью.

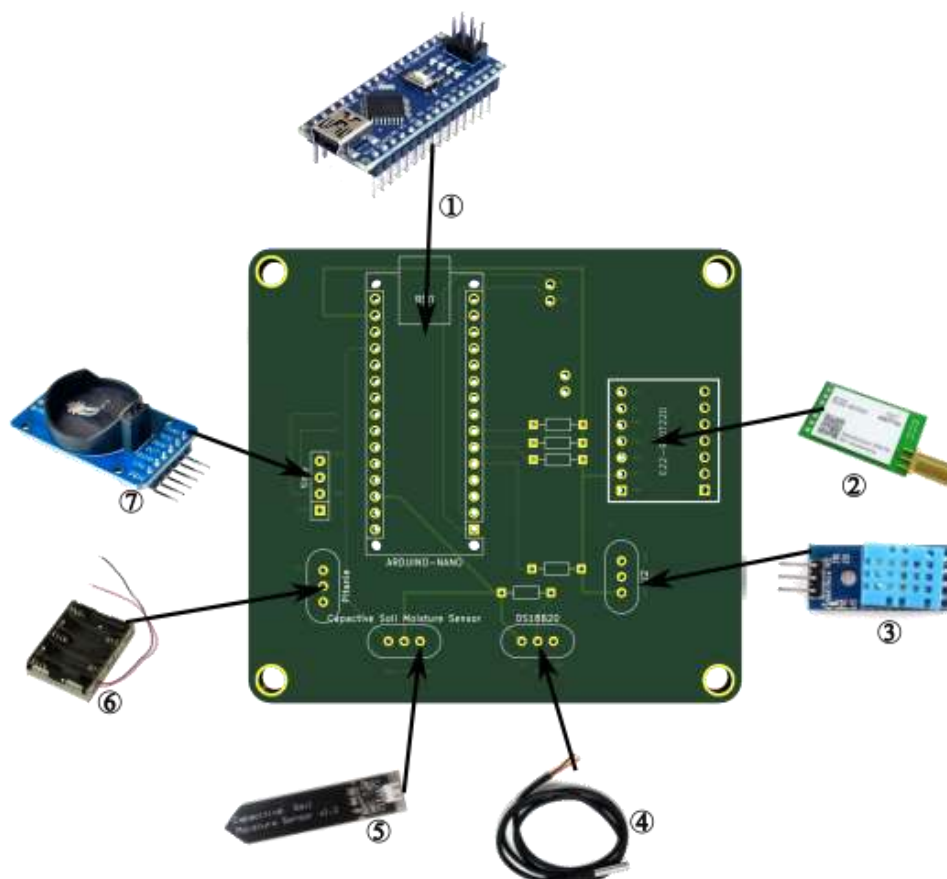


Рис. 4. Общая схема прототипа сенсорного узла: 1. Arduino Nano, 2. E22-900T22D, 3. DHT11, 4.DS18B20, 5. Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2, 6 Battery 6 AA, 7.DS3231

Прототип базовой станции состоит из следующих компонентов: микрокомпьютер Raspberry Pi 5, модуль приема данных (LoRa 868 МГц), модуль интернета (GSM), батарейка, жесткий диск. Используемая операционная система – Linux, была создана и настроена база данных, а также автоматический выход на связь по таймеру для получения данных с узлов и последующей передачи в облачное хранилище. Предварительное тестирование полученного прототипа включало в себя следующие пункты:

- измерение агрофизических параметров сенсорным узлом;
- передача данных с узла на базовую станцию;
- передача данных с базовой станции в облачное хранилище и пользовательский веб-интерфейс;
- сравнение полученных измерений с текущими данными местной метеостанции.

## **Заключение**

В ходе исследования были выработаны подходы для сбора агроэкологических данных в задачах точного земледелия, создания многослойных специализированных датасетов с применением данных дистанционного зондирования. При этом помимо предобработанных геопривязанных ортофотопланов были отработаны алгоритмы создания дополнительных векторных слоев с соответствующей разметкой (на базе наземных измерений).

В качестве второго направления сбора информации, отражающей состояние сельскохозяйственного поля, был разработан прототип беспроводной сенсорной сети: предложена архитектура сенсорного узла, а также базовой станции. Прототипные решения были реализованы и предварительно протестированы.

В качестве направлений дальнейшей работы выделяются следующие задачи:

- расширение специализированных размеченных датасетов на основе аэрофотосъемки и наземных измерений;
- разработка защищенных корпусов для узлов и базовой станции сенсорной сети;
- доработка пользовательского веб-приложения для обеспечения доступа к данным БСС и их обработки;
- тестирование БСС в полях;
- расширение тестов: время работы узлов, тестирование базы данных и веб-приложения и т.д.;
- разработка метода оптимального размещения датчиков на поле;
- исследование возможности использования коптера в качестве альтернативной базовой станции для БСС.

Текст статьи с включенным иллюстративным материалом (шрифт 14 Times New Roman, через 1,5 интервала, текст выравнивается по ширине с абзацными отступами 1 см.), включение таблиц и рисунков желательно, ссылки на таблицы, рисунки и заголовки к ним обязательны. Ссылки на библиографические

источники давать в тексте в квадратных скобках, а не в виде сносок (подстрочных ссылок).

### Литература

1. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю., Блохин Ю.И., Матвеев Д.А. Перспективы выявления идентификационных показателей состояния посевов по аэрокосмическим снимкам и специализированным полевым исследованиям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 113-127.
2. Матвеев Д.А., Якушев В.В., Якушев В.П. Прецизионное управление азотным режимом яровой пшеницы на основе дистанционного зондирования посевов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 79-86.
3. Chen Y., Tao F. Potential of remote sensing data-crop model assimilation and seasonal weather forecasts for early-season crop yield forecasting over a large area // Field Crops Research. 2022. Vol. 276. Paper number 108398.
4. Pankova, L., Aulova, R. and Jarolimek, J. Economic Aspects of Precision Agriculture Systems // AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics. 2020. Vol. 12. No. 3. P. 59-67.
5. Balafoutis A., Beck B., Fountas S., Vangeyte J., Wal T.V.d., Soto I., Gómez-Barbero M., Barnes A., Eory V. Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics // Sustainability. 2017. Vol. 9. Paper number 1339.
6. Qi H. J., Jin X., Zhao L., DEDO I. M., Li S. W. Predicting sandy soil moisture content with hyperspectral imaging // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2017. Vol. 10. No. 6. P. 175–183.
7. Zhang X., Feng G., Sun X. Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A review // Journal of Agriculture and Food Research. 2024. Vol. 18. Paper number 101473.
8. Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П. Применение методов геостатистики для анализа целесообразности перехода к технологиям дифференцированного внесения агрохимикатов // Вестник Санкт-

Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2020. Т. 16. № 1. С. 31-40.

9. Guo L., Sun X., Fu P., Shi T., Dang L., Chen Y., Linderman M., Zhang G., Zhang Y., Jiang Q., Zhang H., Zeng C. Mapping soil organic carbon stock by hyperspectral and time-series multispectral remote sensing images in low-relief agricultural areas // *Geoderma*. 2021. Vol. 398. Article number 115118.

10. Lu Y., Young S. A survey of public datasets for computer vision tasks in precision agriculture // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 178. Paper number 105760.

11. Tilahun T., Seyoum W.M. High-resolution mapping of tile drainage in agricultural fields using unmanned aerial system (UAS)-based radiometric thermal and optical sensors // *Hydrology*. 2021. Vol. 8. No. 2. Article number 8010002.

12. Song Z., Zhang Z., Yang S., Ding D., Ning J. Identifying sunflower lodging based on image fusion and deep semantic segmentation with UAV remote sensing imaging // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. Article number 105812.

13. Boulila W., Sellami M., Driss M., Al-Sarem M., Safaei M., Ghaleb F.A. RS-DCNN: A novel distributed convolutional-neural-networks based-approach for big remote-sensing image classification // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 182. Article number 106014.

14. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review // *Remote Sensing of Environment*. 2020. V. 236. Article number 111402.

15. Kallimani C., Dehkordi R.H., van Evert F.K., Kooistra L., Rijk B. UAV-based Multispectral and Thermal dataset for exploring the diurnal variability, radiometric and geometric accuracy for precision agriculture // *Open Data Journal for Agricultural Research*. 2020. V. 6. P. 1-7.

16. Kumar A., Taparia M., Rajalakshmi P., Guo W., Naik B., Marathi B., Desai U.B. UAV based remote sensing for tassel detection and growth stage estimation of maize crop using multispectral images // *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2020. P. 1588-1591.

17. Ma J., Liu B., Ji L., Zhu Z., Wu Y., Jiao W. Field-scale yield prediction of winter wheat under different irrigation regimes based on dynamic fusion of multimodal UAV imagery // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2023. Vol. 118. Paper number 103292.

18. Gheisari M., Yaraziz M.S., Alzubi J., Fernandez-Campusano C., Feylizadeh M.R., Pirasteh S., Abbasi A.A., Liu Y., Lee C.-C. An efficient cluster head selection for wireless sensor network-based smart agriculture systems // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 198. Paper number 107105.

19. Dabach S., Shani U., Lazarovitch N. Optimal tensiometer placement for high-frequency subsurface drip irrigation management in heterogeneous soils // *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 152. P. 91-98.

### References

1. Yakushev V.P., Yakushev V.V., Blokhina S.YU., Blokhin YU.I., Matveenko D.A. (2022). Perspektivy vyyavleniya identifikatsionnykh pokazatelei sostoyaniya posevov po aehrokosmicheskim snimkam i spetsializirovannym polevym issledovaniyam [Prospects for revealing identification indicators of crop canopy based on aerospace imagery and field precision experimentation]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 19, no 4, pp. 113-127.

2. Matveenko D.A., Yakushev V.V., Yakushev V.P. (2019). Pretsizionnoe upravlenie azotnym rezhimom yarovoi pshenitsy na osnove distantsionnogo zondirovaniya posevov [Precision management of the nitrogen status of spring wheat crops based on remote sensing data]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 16, no 3, pp. 79-86.

3. Chen Y., Tao F. (2022). Potential of remote sensing data-crop model assimilation and seasonal weather forecasts for early-season crop yield forecasting over a large area. *Field Crops Research*, vol. 276, paper number 108398.

4. Pankova, L., Aulova, R. and Jarolimek, J. (2020). Economic Aspects of Precision Agriculture Systems. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, vol. 12, no 3, pp. 59-67.

5. Balafoutis A., Beck B., Fountas S., Vangeyte J., Wal T.V.d., Soto I., Gómez-Barbero M., Barnes A., Eory V. (2017). Precision Agriculture Technologies

Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. Sustainability, vol. 9, paper number 1339.

6. Qi H. J., Jin X., Zhao L., DEDO I. M., Li S. W. (2017). Predicting sandy soil moisture content with hyperspectral imaging. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, vol. 10, no 6, pp. 175–183.

7. Zhang X., Feng G., Sun X. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A review. Journal of Agriculture and Food Research, vol. 18, paper number 101473.

8. Yakushev V.P., Bure V.M., Mitrofanova O.A., Mitrofanov E.P. (2020). Primenenie metodov geostatistiki dlya analiza tselesoobraznosti perekhoda k tekhnologiyam differentsirovannogo vneseniya agrokhimikatov [The use of geostatistical methods to analyze the transition feasibility to the differential application of agrochemicals technologies]. Vestnik of saint petersburg university. Applied mathematics. Computer science. Control processes, vol. 16, no 1, pp. 31-40.

9. Guo L., Sun X., Fu P., Shi T., Dang L., Chen Y., Linderman M., Zhang G., Zhang Y., Jiang Q., Zhang H., Zeng C. (2021). Mapping soil organic carbon stock by hyperspectral and time-series multispectral remote sensing images in low-relief agricultural areas. Geoderma, vol. 398, article number 115118.

10. Lu Y., Young S. (2020). A survey of public datasets for computer vision tasks in precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 178, paper number 105760.

11. Tilahun T., Seyoum W.M. (2021). High-resolution mapping of tile drainage in agricultural fields using unmanned aerial system (UAS)-based radiometric thermal and optical sensors. Hydrology, vol. 8, no 2, article number 8010002.

12. Song Z., Zhang Z., Yang S., Ding D., Ning J. (2020). Identifying sunflower lodging based on image fusion and deep semantic segmentation with UAV remote sensing imaging. Computers and Electronics in Agriculture, vol. 179, article number 105812.

13. Boulila W., Sellami M., Driss M., Al-Sarem M., Safaei M., Ghaleb F.A. (2021). RS-DCNN: A novel distributed convolutional-neural-networks based-



approach for big remote-sensing image classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 182, article number 106014.

14. Weiss M., Jacob F., Duveiller G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. *Remote Sensing of Environment*, vol. 236, article number 111402.

15. Kallimani C., Dehkordi R.H., van Evert F.K., Kooistra L., Rijk B. (2020). UAV-based Multispectral and Thermal dataset for exploring the diurnal variability, radiometric and geometric accuracy for precision agriculture. *Open Data Journal for Agricultural Research*, vol. 6, pp. 1-7.

16. Kumar A., Taparia M., Rajalakshmi P., Guo W., Naik B., Marathi B., Desai U.B. (2020). UAV based remote sensing for tassel detection and growth stage estimation of maize crop using multispectral images. *IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 1588-1591.

17. Ma J., Liu B., Ji L., Zhu Z., Wu Y., Jiao W. (2023). Field-scale yield prediction of winter wheat under different irrigation regimes based on dynamic fusion of multimodal UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 118, paper number 103292.

18. Gheisari M., Yaraziz M.S., Alzubi J., Fernandez-Campusano C., Feylizadeh M.R., Pirasteh S., Abbasi A.A., Liu Y., Lee C.-C. (2022). An efficient cluster head selection for wireless sensor network-based smart agriculture systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 198, paper number 107105.

19. Dabach S., Shani U., Lazarovitch N. (2015). Optimal tensiometer placement for high-frequency subsurface drip irrigation management in heterogeneous soils. *Agricultural Water Management*, vol. 152, pp. 91-98.

© Митрофанов Е.П., Митрофанова О.А., 2024. *International agricultural journal*, 2024, №6, 1752-1768

**Для цитирования:** Митрофанов Е.П., Митрофанова О.А. ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И СЕНСОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ//*International agricultural journal*. 2024. №6, 1752-1768