

EDN: VCWBKC

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-79-85



Научная статья

УДК 631.171



Интеллектуальная полевая сенсорная станция для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования в системе точного земледелия

Сергей Анатольевич Васильев^{1,2},
доктор технических наук, профессор,
e-mail: vsa_21@mail.ru;

Сергей Евгеньевич Лимонов^{1,2},
аспирант,
e-mail: limonov.msf@gmail.com;

Сергей Александрович Мишин²,
ассистент,
e-mail: supers.ya@yandex.ru

¹Княгининский университет, г. Княгинино, Российская Федерация;

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Российская Федерация

Реферат. Современные тенденции в сельском хозяйстве свидетельствуют о широком внедрении информационных технологий и сети датчиков интернета вещей для мониторинга агрофизических параметров почвы и фенотипирования объектов. Этот подход обеспечивает точный анализ данных в реальном времени, способствуя оптимизации агротехнических процессов и созданию адаптивных систем управления. Слияние информационных технологий с мониторингом агрофизических параметров и фенотипирования объектов подчеркивает стратегическую важность данного подхода, особенно в условиях изменчивости климата и необходимости повышения устойчивости производства. *(Цель исследования)* Разработать интеллектуальную полевую сенсорную станцию, обеспечивающую высокую точность мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования растений в реальном времени с использованием сети датчиков интернета вещей. *(Материалы и методы)* Проанализированы и изучены существующие методы мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования объектов. На основе различных методов мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования объектов разработана конструкция и выбраны датчики для интеллектуальной полевой сенсорной станции. *(Результаты и обсуждение)* Интеллектуальная полевая сенсорная станция успешно продемонстрировала свою эффективность, подтвердив работоспособность и надежность в одновременном получении данных. Собранные данные об агрофизических параметрах почвы, метеорологических условиях и фенотипе растений предоставляют обширную информацию для точного земледелия и оптимизации сельскохозяйственных процессов. *(Выводы)* Светло-серая лесная почва с высокой пористостью и нейтральным уровнем pH благоприятна для возделывания сельскохозяйственных культур. Предварительный химический анализ почвы выявил умеренные значения содержания органического вещества, подвижного фосфора и калия, что указывает на потенциально плодородный участок. Метеорологические данные представляли собой ключевой аспект для агрометеорологического анализа, который в свою очередь оказывает существенное влияние на сельскохозяйственные процессы. Разработанная станция представляет инновационный взгляд на мониторинг сельскохозяйственных параметров, обещая перспективы в современном земледелии.

Ключевые слова: агрофизические параметры, фенотипирование растений, точное земледелие, датчики интернета вещей, полевая станция, техническое средство, инновационные технологии.

■ **Для цитирования:** Васильев С.А., Лимонов С.Е., Мишин С.А. Интеллектуальная полевая сенсорная станция для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №4. С. 79-85. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-79-85. EDN: VCWBKC.

Scientific article

Intelligent Field Sensor Station for Monitoring Agrophysical Parameters and Phenotyping in Precision Agriculture System

Sergey A. Vasilyev^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: vsa_21@mail.ru;

Sergey Ye. Limonov^{1,2},
Ph.D.(Eng.) student, e-mail: limonov.msf@gmail.com;

Sergey A. Mishin²,
assistant of the department,
e-mail: supers.ya@yandex.ru

¹Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (Knyaginino University), Knyaginino, Russian Federation;

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. Current trends in agriculture highlight the widespread adoption of information technology and Internet of Things (IoT) sensor networks for monitoring agrophysical soil parameters and phenotyping objects. This approach enables precise, real-time data analysis, optimizing agricultural processes and supporting the development of adaptive management systems. The integration of information technology with the monitoring of agrophysical parameters and phenotyping objects underscores the strategic importance of this approach, especially in the context of climate variability and the growing need to enhance production sustainability. *(Research purpose)* To develop an intelligent field sensor station for precision farming that ensures high-accuracy, real-time monitoring of agrophysical parameters and plant phenotyping using an Internet of Things sensor network. *(Materials and methods)* Existing methods for monitoring agrophysical parameters and phenotyping objects were analyzed. Based on these methods, a design for an intelligent field sensor station was developed, and suitable sensors were selected. *(Results and discussion)* The intelligent field sensor station successfully demonstrated its efficiency, confirming both its functionality and reliability in simultaneous data collection. The data collected on soil agrophysical parameters, meteorological conditions and plant phenotyping provide extensive knowledge for precision farming and optimizing agricultural processes. *(Conclusions)* Light gray forest soil with high porosity and neutral pH level provided favorable conditions for crops. Preliminary chemical analysis of the soil revealed moderate levels of organic matter, mobile phosphorus, and potassium, indicating a potentially fertile site. Meteorological data played a key role in agrometeorological analysis, significantly impacting agricultural processes. The developed station introduces an innovative approach to monitoring agricultural parameters, offering promising prospects for modern agriculture.

Keywords: agrophysical parameters, plant phenotyping, precision farming, Internet of Things, IoT sensors, field station, technical means, innovative technologies.

■ **For citation:** Vasiliev S.A., Limonov S.E., Mishin S.A. Intelligent field sensor station for monitoring agrophysical parameters and phenotyping in precision agriculture system. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 79-85 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-79-85. EDN: VCWBKC.

Современные тенденции в растениеводстве свидетельствуют о все более широком использовании информационных технологий для улучшения методов наблюдения и обработки почвенных данных на сельскохозяйственных угодьях. Основой этой эволюции становятся современные аппаратно-программные комплексы, включающие в себя сеть датчиков интернета вещей, которые направлены на сбор и анализ цифровой информации в течение вегетационного периода [1]. Это открывает перспективы для разработки интеллектуальных средств наблюдения, способных собирать и обрабатывать информацию об агротехнических показателях на полевых угодьях.

Агрофизические показатели плодородия почв, такие как гранулометрический и минералогический состав, структура, плотность, порозность, воздухоёмкость и влагоёмкость, а также агротехнологические параметры, представляют собой существенные характеристики, определяющие условия для развития растений [2]. Эти параметры создают оптимальные условия для водного, воздушного, теплового и питательного режимов, влияя на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Динамичность перечисленных показателей в течение вегетационного периода подчеркивает необходимость систематического мониторинга для эффективного управления земельными ресурсами.

Слияние информационных технологий с мониторингом агрофизических показателей плодородия почвы приобретает стратегическую важность в кон-

тексте современного сельского хозяйства [3]. Актуальность этого подхода проявляется в возможности для сельскохозяйственных предприятий не только оптимизировать текущие агротехнические процессы, но и создавать адаптивные системы управления, способные эффективно реагировать на изменчивость окружающей среды.

Информационные технологии и сеть датчиков интернета вещей предоставляют доступ к реальным временным данным, а также возможность более точно оценивать агрофизические параметры почвы в динамике вегетационного периода [4]. Это позволяет выстраивать стратегии управления ресурсами, основанные на конкретных потребностях почвы и растений [5].

Учитывая нестабильность климатических условий, давление на устойчивость сельского хозяйства и необходимость повышения эффективности производства, современные подходы к мониторингу агрофизических показателей и фенотипированию объектов становятся критическими для достижения устойчивого развития в сельском хозяйстве [6]. Это также открывает перспективы для разработки инновационных решений и технологий, направленных на повышение производительности и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду [7].

Цель исследования: разработать интеллектуальную полевую сенсорную станцию для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования в системе точного земледелия, которая будет обеспечивать высокую точность собранных данных об агрофизических параметрах в реальном времени с

использованием полевого технического средства, оснащенного сетью датчиков интернета вещей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для мониторинга агрофизических показателей плодородия почвы нами предлагается использовать разнообразные методы и технические средства, которые позволяют измерять и анализировать физические характеристики почвы [8-10]. На *рисунке 1* указаны методы мониторинга агрофизических показателей почвы и фенотипирования растений [11-13].

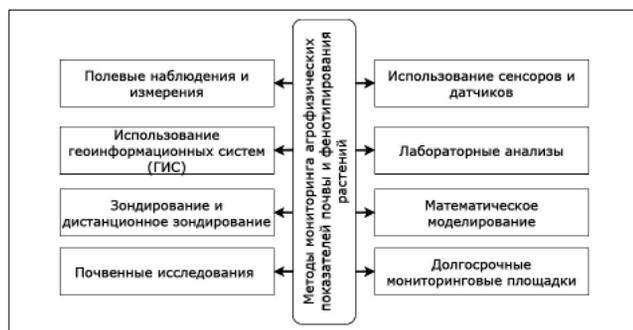


Рис. 1. Методы мониторинга агрофизических показателей плодородия почвы и фенотипирования растений
 Fig. 1. Methods of monitoring agrophysical soil fertility indicators and plant phenotyping

Почвенные исследования. Основаны на сборе образцов почвы на участках сельскохозяйственной земли. Лабораторный анализ образцов позволяет измерить текстуру, структуру, плотность, влажность, проводимость и водоудерживающую способность почвы.

Дистанционное зондирование. Использует спутники, дроны и аэрокосмические платформы. Позволяет измерять параметры, такие как влажность, структуру и температуру, на больших территориях с использованием специализированных датчиков.

Геоэлектрические исследования. Изучают физические характеристики почвы через электрическое сопротивление грунта с использованием электродов. Применяются для определения структуры, влажности, оптимизации полива и выявления грунтовых вод.

Акустические методы. Основаны на анализе скорости распространения звуковых волн в почве. Позволяют определить плотность, структуру и компактность почвы, а также контролировать эрозию и улучшать водоудерживающие свойства.

Зондирование ядрами. Исследуют агрофизические характеристики почвы через внедрение зондов на определенную глубину. Обеспечивают детальное изучение физических свойств почвы на различных уровнях и создание подробных карт характеристик.

Использование датчиков. Осуществляется установкой датчиков в почве или на ее поверхности для непрерывного мониторинга параметров. Позволяет собирать данные в реальном времени о влажно-

сти, температуре, электропроводности, оптимизировать агротехнические процессы [14, 15].

Прецизионное земледелие и GIS. Совмещает прецизионное земледелие с геоинформационными системами. Обеспечивает точный анализ и оптимизацию агротехнических мероприятий, управление ресурсами и мобильной техникой, повышение продуктивности и минимизацию воздействия на окружающую среду [16, 17].

На основе перечисленных методов нами была разработана интеллектуальная полевая сенсорная станция (*рис. 2*). Она представляет собой комплексный инструмент для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования растений.

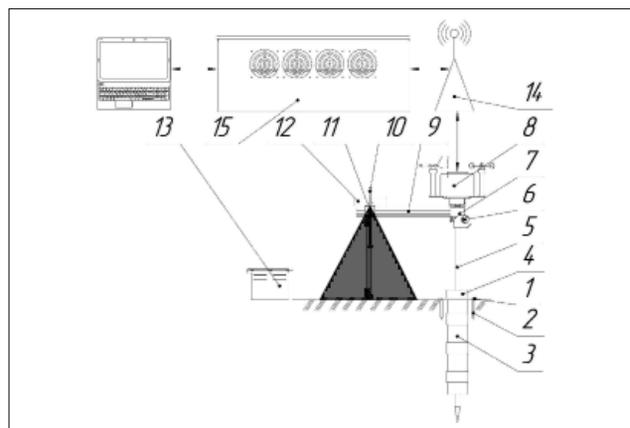


Рис. 2. Схема интеллектуальной полевой сенсорной станции для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования растений в системе точного земледелия

Fig. 2. Diagram of an intelligent field sensor station for monitoring agrophysical parameters and plant phenotyping in a precision farming system

Интеллектуальная полевая сенсорная станция представляет собой опору 1, в ней для устойчивости установлены штывы 2. В трубе 3 размещены сенсоры для измерения влажности и получение параметров структуры почвы. Блок управления 4 и стойка 5 с электродвигателем постоянного тока 6 обеспечивают плавное перемещение профиля 9. Метеостанция 8 размещена на стойке 7 и собирает информацию о метеорологических параметрах. Профиль 9 с регулировочным стержнем 10, лазерным сканером 11 и цифровой камерой 12 обеспечивают точный сбор данных. Обработанные данные передаются на сервер 15 через модуль GSM 14, где они хранятся и становятся доступными для дополнительного анализа. Персональный компьютер имеет доступ к серверу и служит для подробного анализа собранных данных и принятия обоснованных управленческих решений.

Станция оборудована встроенными сенсорами, в том числе электродами для геоэлектрических ис-

следований, датчиками скорости и направления воздушного потока, влажности, температуры, атмосферного давления, уровня жидких осадков, ультрафиолета, освещенности. Дистанционное зондирование осуществляется с использованием лазерного сканера и камеры глубины для создания трехмерной модели поверхности почвы, а также наблюдения за ростом культуры. Станция оснащена геоинформационными системами, обеспечивающими точный анализ данных для оптимизации агротехнических процессов.

Важно отметить независимость работы станции от внешних источников энергии или связи в удаленных или недоступных местах, где нет электропитания. Автономными источниками питания могут быть батарея, солнечные панели или другие.

Встроенное программное обеспечение дает возможность подключения сенсорной станции к ноутбуку по *Bluetooth*. Кроме того, имеется функция передачи и получения информации с сервера по сети *GSM*.

Таким образом, интеллектуальная полевая сенсорная станция служит инструментом для получения и обработки информации о состоянии почвы и сельскохозяйственных культур на пахотных угодьях и может быть включена в сеть датчиков интернета вещей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Исследования проводились на сельских угодьях в поселке Опытный Цивильского района Чувашской Республики с целью анализа агрофизических параметров и фенотипирования растений на примере выращивания гороха сорта Томас. В качестве технического средства использовалась интеллектуальная полевая станция, оснащенная различными сенсорами и устройствами.

Станция представляет собой компактное устройство высотой 2 м, длиной 1,2 м и шириной 1,2 м. Главной ее особенностью является модульность, что обеспечивает гибкость в настройке и возможности дополнительного оснащения различными датчиками при необходимости. Разборная конструкция значительно упрощает транспортировку и установку станции в местах проведения исследований.

Интеллектуальная полевая сенсорная станция включает в себя: камеру глубины *OrbbecAstra*, обеспечивающую 3D-визуализацию окружающей среды с точностью $\pm 1-3$ мм на 1 м, лазерный сканер *Riftek* с точностью $\pm 0,1$ мм для измерения расстояний и сканирования объектов, метеостанцию для мониторинга метеорологических параметров. Также предусмотрены дополнительные устройства, включая акселерометр, гироскоп, электродвигатель постоянного тока, контроллеры *RaspberryPi* и *STM32*, источник питания 12 В. Диаметр области наблюдения в установленной точке составляет 2 м.

Перед размещением сенсорной станции на исследуемом участке проведен предварительный забор проб почвы на глубине до 1 метра при использовании бензинового бура. Пробы затем были проанализированы в лабораторных условиях с целью определения ключевых характеристик почвы, важных для агрофизического мониторинга, особенно влажности почвы. Место испытания характеризовалось светло-серой лесной почвой с плотностью $1,14$ г/см³, плотностью твердой фазы $2,54$ г/см³, пористостью $0,55$, удельной поверхностью $127,4$ м²/м³ и коэффициентом фильтрации $2,28 \times 10^{-5}$. Получены результаты химического анализа почвы.

Органическое вещество (гумус), % по ГОСТ 26213-2021	4,8
Подвижный фосфор, мг/кг по ГОСТ Р 54650-2011	480
Подвижный калий, мг/кг по ГОСТ Р 54650-2011	231
pH (KCl) по ГОСТ 26483-85	6,8

Далее на этом участке установили интеллектуальную полевую сенсорную станцию (рис. 3). Она может работать с разной периодичностью по времени. Оборудованная лазерным сканером и камерой глубины, станция выполняет сканирование по периферии участка, создавая трехмерное облако точек с точностью 0,1 мм по вертикали.



Рис. 3. Полевые испытания интеллектуальной сенсорной станции

Fig. 3. Field testing of an intelligent sensor station

После завершения вегетационного периода собранные данные переносились на персональный компьютер и проводился тщательный их анализ. С использованием компьютерного зрения проводился детальный расчет информации с координатами (x , y , z), что позволяло определить форму, структуру и агрегатный состав поверхности почвы (рис. 4). Полученная точная цифровая модель системы «почва-растения-окружающая среда» применяется в сельском хозяйстве для анализа агрофизических показателей и параметров почвы, фенотипирования растений и сорняков,

оптимизации вегетационных процессов. Фенотипирование в данном случае представляло собой процесс сбора данных о внешних характеристиках растений, таких как размер, форма, цвет, структура листьев и другие морфологические параметры.

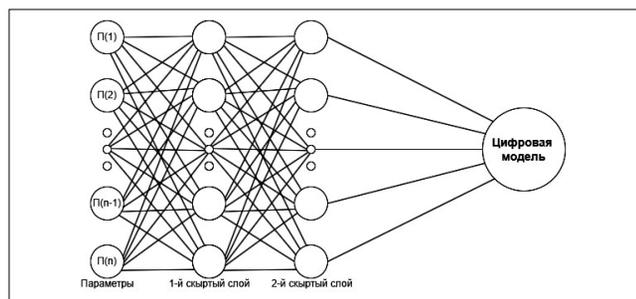


Рис. 4. Двухслойная нейронная сеть с агрофизическими параметрами

Fig. 4. A two-layer neural network using agrophysical parameters

На входе в нейронную сеть для комплексного анализа факторов передаются показатели, получаемые с интеллектуальной сенсорной станции [18, 19].

В процессе вегетации растений на основе собранных данных определялись следующие параметры: скорость и направление воздушного потока, влажность воздуха и почвы в профиле до 1 м, температура воздуха и почвы в профиле до 1 м, атмосферное давление воздуха, уровень жидких осадков, индекс ультрафиолетового излучения, интенсивность света, фактическая норма высева и всхожесть семян, прямолинейность посевов, наличие огрехов и просевов, густота стояния сельскохозяйственных культур, высота растений, цифровая модель поверхности почвы и растений, включая сорняки.

Метеостанция зафиксировала следующие показатели: скорость ветра колебалась от 2,88 до 3,2 м/с, направление ветра по азимуту варьировалось от 205° до 224°, абсолютная влажность воздуха изменялась в пределах 10-15 мм, а количество осадков и температура изменялись от 40 мм до 65 мм и от 6 до 40 °С соответственно.

Также имеется возможность проводить оценку фенотипа растения, анализ болезней и вредителей растений (рис. 5).



Рис. 5. Наблюдение за горохом сорта Томас: а – 45 день после посадки; б – 90 день после посадки

Fig. 5. Observation of Thomas variety peas: a – 45 days after planting; b – 90 days after planting

После вегетационного периода был проделан тщательный анализ собранных данных о количестве стеблей, бобов и зерен гороха сорта Томас. Общее количество стеблей достигло 22 шт. на одном квадратном метре, это свидетельствует о хорошем разветвлении растений. Количество бобов составило 85 шт., путем ручного подсчета установлено 475 горошин с общей массой 91,87 г, что подчеркивает высокий уровень продуктивности гороха на данном участке. Это указывает на успешное прохождение вегетационного периода и эффективное воздействие агротехнических мероприятий, содействующих высокой урожайности сорта Томас.

При фенотипировании гороха сорта Томас не было выявлено серьезных проблем. Растения не подверглись воздействию вредителей, не было признаков сухости листьев, и частота всхожести оказалась на ожидаемом уровне. Полученные результаты свидетельствуют о благоприятных условиях для роста и развития растений на исследуемом участке.

Выводы. Разработана интеллектуальная полевая сенсорная станция для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования растений в рамках системы точного земледелия.

Станция показала свою работоспособность, а также подтвердила эффективность и надежность в сборе данных в условиях реального времени.

Получена всесторонняя информация о ее месте установки, включая почвенные характеристики, метеорологические условия и структурные особенности поверхности. Светло-серая лесная почва с высокой пористостью и нейтральным уровнем рН представляла благоприятные условия для сельскохозяйственных культур. Химический анализ почвы выявил умеренные значения содержания органического вещества, подвижного фосфора и калия, что указывает на потенциально плодородный участок.

В результате фенотипирования гороха сорта Томас не выявлено серьезных проблем, отсутствуют признаки воздействия вредителей и сухости листьев, а частота всхожести соответствует ожиданиям. Анализ данных по урожайности, проведенный после вегетационного периода, подтвердил высокий уровень продуктивности участка, выраженный в хорошем разветвлении, обильном формировании бобов и количестве горошин. Метеорологические данные представляли собой ключевой аспект для агрометеорологического анализа, который в свою очередь оказывает существенное влияние на сельскохозяйственные процессы.

Разработанная станция представляет собой инновационный подход к мониторингу агрофизических параметров. Тестирование и последующий анализ данных подтверждают ее эффективность и перспективность внедрения в систему современного земледелия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Friedli M., Kirchgessner N., Grieder C. et al. Terrestrial 3D laser scanning to track the increase in canopy height of both monocot and dicot crop species under field conditions. *Plant Methods*. 2016. N12. 9. DOI: 10.1186/s13007-016-0109-7.
2. Barreto B.B., Rivera F.P., McKenzie B.M. et al. Analysis of the effect of tilling and crop type on soil structure using 3D laser profilometry. *Agriculture*. 2023. N13. 2077. DOI: 10.3390/agriculture13112077.
3. Kazemi M., Samavati F.F. Automatic soil sampling site selection in management zones using a multi-objective optimization algorithm. *Agriculture*. 2023. N13. 1993. DOI: 10.3390/agriculture13101993.
4. Yue J., Zhou C., Feng H. et al. Novel applications of optical sensors and machine learning in agricultural monitoring. *Agriculture*. 2023. N13. 1970. DOI: 10.3390/agriculture13101970.
5. Rossi R., Costafreda-Aumedes S., Leolini L. et al. Implementation of an algorithm for automated phenotyping through plant 3D-modeling: A practical application on the early detection of water stress. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 197. 106937. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106937.
6. Songhee C., Taehyeong K., Dae-Hyun J. et al. Plant growth information measurement based on object detection and image fusion using a smart farm robot. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 207. 2023. 107703. DOI: 10.1016/j.compag.2023.107703.
7. Zimmermann G.G., Samir J., Savi D. et al. Development of an electronic profilometer to measure mobilization variables in soil harrowing. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2023. N3. e0204. DOI: 10.5424/sjar/2023212-19811.
8. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2020. N1. 421(3):032026. DOI: 10.1088/1755-1315/421/3/032026.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Речнов А.В. Экспресс-метод количественной оценки пожнивных остатков на поверхности почвы // *Аграрный научный журнал*. 2015. N9. С. 11-13. EDN: UJURLH.
10. Васильев С.А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия // *Земледелие*. 2022. N3. С. 36-41. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41.
11. Пустовалов Р.А., Коротенко Т.Л. Фенотипирование по морфологическим и агрономическим признакам агроэкотипов мирового разнообразия риса в условиях Южного региона России // *Рисоводство*. 2022. N2(55). С. 11-19. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-11-19.
12. Маракаева Т.В. Фенотипическая изменчивость селекционных линий чечевицы (*Lensculinaris L.*) по элементам семенной продуктивности в экологических условиях Омской области. // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24. N1. С. 86-97. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97.
13. Фадеев А.А., Фадеева М.Ф., Никифорова И.И., Иванова И.Ю. Перспективные селекционные линии сои северного экотипа для создания сортов кормового назначения // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23. N2. С. 203-210. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.203-210.
14. Носкова А.И., Токранова М.В. Обзор автоматизированных систем мониторинга // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2017. N1. С. 42-47. EDN: ZIAHDL.
15. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2. С. 40-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
16. Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф., Размук В.А и др. Анализ современных информационных систем мониторинга процессов производства в сельском хозяйстве // *Агро-ЭкоИнженерия*. 2021. N1(106). С. 4-14. EDN: LKMFTU.
17. Лачуга Ю.Ф., Годжаев З.А., Редько И.Я. Создание и применение мобильных многофункциональных энерготехнологических комплексов // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2022. Т. 23. N1. С. 23-29. DOI: 10.22363/2312-8143-2022-23-1-23-29.
18. Кутырев А.И., Смирнов И.Г. Сверточная нейронная сеть (Seg-CNN) для распознавания, классификации и сегментации ветвей с плодами яблони и плодоножек на изображениях // *Садоводство и виноградарство*. 2024. N2. С. 53-62. DOI: 10.31676/0235-2591-2024-2-53-62.
19. Кутырев А.И., Смирнов И.Г. Нейронная сеть для распознавания и классификации плодов яблони // *Аграрный научный журнал*. 2023. N8. С. 123-133. DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp123-133.

REFERENCES

1. Friedli M., Kirchgessner N., Grieder C. et al. Terrestrial 3D laser scanning to track the increase in canopy height of both monocot and dicot crop species under field conditions. *Plant Methods*. 2016. N12. 9 (In English). DOI: 10.1186/s13007-016-0109-7.
2. Barreto B.B., Rivera F.P., McKenzie B.M. et al. Analysis of the effect of tilling and crop type on soil structure using 3D laser profilometry. *Agriculture*. 2023. N13. 2077 (In English). DOI: 10.3390/agriculture13112077.
3. Kazemi M., Samavati F.F. Automatic soil sampling site selection in management zones using a multi-objective optimization algorithm. *Agriculture*. 2023. N13. 1993 (In English). DOI: 10.3390/agriculture13101993.
4. Yue J., Zhou C., Feng H. et al. Novel applications of optical sensors and machine learning in agricultural monitoring. *Agriculture*. 2023. N13. 1970 (In English). DOI: 10.3390/agriculture13101970.
5. Rossi R., Costafreda-Aumedes S., Leolini L. et al. Imple-

- mentation of an algorithm for automated phenotyping through plant 3D-modeling: A practical application on the early detection of water stress. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 197. 106937 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2022.106937.
6. Songhee C., Taehyeon K., Dae-Hyun J. et al. Plant growth information measurement based on object detection and image fusion using a smart farm robot. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2023. Vol. 207. 107703 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2023.107703.
 7. Zimmermann G., Jasper S., Savi D. et al. Development of an electronic profilometer to measure mobilization variables in soil harrowing. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2023. 21(2): e0204. DOI: 10.5424/sjar/2023212-19811.
 8. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2020. 421(3):032026 (In English). DOI:10.1088/1755-1315/421/3/032026.
 9. Vasiliev S.A., Alexeyev V.V., Rechnov A.V. Rapid method for quantitative evaluation of residue on the soil surface. *Agrarian Scientific Journal*. 2015. N9. 11-13 (In Russian). EDN: UJURLH.
 10. Vasiliev S.A. Intelligent technology for quality control of tillage in the precision farming system. *Zemledeliye*. 2022. N3. 36-41 (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-36-41.
 11. Pustovalov R.A., Korotenko T.L. Phenotyping according to morphological and agronomic characteristics of agroecotypes of the world variety of rice in the conditions of the southern region of Russia. *Rice Growing*. 2022. N2(55). 11-19 (In Russian). DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-11-19.
 12. Marakaeva, T.V. Phenotypic variability of breeding lines of lentils (*Lens culinaris* L.) according to elements of seed productivity in the environmental conditions of the Omsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024. Vol. 24. N1. 86-97 (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-86-97.
 13. Fadeev A.A., Fadeeva M.F., Nikiforova I.I., Ivanova I.Yu. Promising soybean breeding lines of the northern ecotype for developing forage crops. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2022. Vol. 23. N2. 203-210 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.203-210.
 14. Noskova A.I., Tokranova M.V. Overview of automated monitoring systems. *Intellectual Technologies on Transport*. 2017. N1. 42-47 (In Russian). EDN: ZIAHDL.
 15. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Medvedev G.V. Development of an experimental phytotron and its application in the research on the energy-ecological efficiency of indoor plant lighting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 40-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
 16. Timofeev E.V., Erk A.F., Razmuk V.A. et al. Survey of modern information systems for monitoring of production processes in agriculture. *AgroEcoEngineering*. 2021. N1. 4-14 (In Russian). DOI: 10.24411/2713-2641-2021-10274.
 17. Lachuga Yu.F., Godzhaev Z.A., Redko I.Ya. Creation and application of mobile multifunctional energy technology complexes. *RUDN Journal of Engineering Research*. 2022. Vol. 23. N1. 23-29 (In Russian). DOI: 10.22363/2312-8143-2022-23-1-23-29.
 18. Kutyrev A.I., Smirnov I.G. A convolutional neural network (Seg-CNN) for recognition, classification, and segmentation of apple fruit branches and stems in images. *Horticulture and Viticulture*. 2024. N2. 53-62 (In Russian). DOI: 10.31676/0235-2591-2024-2-53-62.
 19. Kutyrev A.I., Smirnov I.G. Neural network for apple fruit recognition and classification. *Agricultural Scientific Journal*. 2023. N8. 123-133 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp123-133.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Васильев С.А. – научное руководство, постановка проблемы, разработка теоретических предпосылок, формулирование основной концепции, целей и задач исследования, доработка текста, формирование общих выводов;
 Лимонов С.Е. – разработка и обоснование конструкции интеллектуальной полевой сенсорной станции, формулирование основных целей и задачи исследования, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи, апробация сенсорной станции;
 Мишин С.А. – разработка программного обеспечения интеллектуальной полевой сенсорной станции, апробация сенсорной станции, анализ параметров.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Vasiliev S.A. – scientific supervision, problem statement, development of theoretical premises, definition of the basic concept, setting research goals and objectives, manuscript refinement, formulating general conclusions;
 Limonov S.E. – development and justification of the design for an intelligent field sensor station, formulation of the research goals and objectives, manuscript refinement and material design, literature review, formulating general conclusions, manuscript proofreading, sensor station testing;
 Mishin S.A. – development of software for the intelligent field sensor station, sensor station testing, analysis of agrophysical parameters.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

28.08.2024

25.10.2024