

УДК 631.153: 631.559

4.3.1. – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ
ОЦЕНКИ УРОЖАЙНОСТИ ОВОЩНЫХ
КУЛЬТУР**

Нестеренко Дмитрий Александрович
Аспирант

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Михайлов Владимир Сергеевич

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 2276-9717

РИНЦ Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСuЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Козлов Вячеслав Геннадиевич

д-р. техн. наук, профессор

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Димогло Анатолий Владимирович

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 8185-2814

РИНЦ Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСuЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Козлова Елена Владимировна

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 9356-2523

РИНЦ Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Чернышов Алексей Викторович

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 7333-3110

РИНЦ Author ID = 620521

UDC 631.153: 631.559

4.3.1. – Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

**THE USE OF REMOTE SENSING TOOLS TO
ASSESS THE YIELD OF VEGETABLE CROPS**

Nesterenko Dmitry Alexandrovich
Graduate student

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Mikhailov Vladimir Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 2276-9717

RSCI Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

Kozlov Vyacheslav Gennadievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Dimoglo Anatoly Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 8185-2814

RSCI Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

Kozlova Elena Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 9356-2523

RSCI Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Chernyshov Alexey Viktorovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

RSCI SPIN-code: 7333-3110

RSCI Author ID = 620521

e-mail: lexa-c@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

e-mail: lexa-c@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Применения цифровых технологий точного земледелия является ключевым сегментом «умного сельского хозяйства». Совершенствование методологической и инструментальной базы информационного обеспечения новых технологий является важнейшим ресурсом информационного обеспечения современных систем земледелия. Среди овощных культур, одно из основных мест принадлежит луку, который пользуется большим спросом со стороны населения и консервной промышленности. Применение средств дистанционного зондирования для оценки урожайности овощных культур, в частности лука репчатого, с использованием в качестве основного источника информации техники дистанционного зондирования, позволяет оперативно дать оценку урожайности, скорректировать технологию возделывания и предвидеть риски. Целью исследования является обзор и проверка существующих методов сбора данных об овощных культурах, в частности лука репчатого, с использованием в качестве основного источника информации технологии дистанционного зондирования на базе беспилотных авиационных систем

Ключевые слова: РЕПЧАТЫЙ ЛУК, БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, КАРТОГРАФИРОВАНИЕ, УРОЖАЙНОСТЬ

The application of digital precision farming technologies is a key segment of "smart agriculture". The improvement of the methodological and instrumental base of information support for new technologies is the most important resource for information support of modern farming systems. Among vegetable crops, one of the main places belongs to onions, which are in great demand from the population and the canning industry. The use of remote sensing tools to assess the yield of vegetable crops, in particular onions, using remote sensing technology as the main source of information, makes it possible to quickly assess yields, adjust cultivation technology and anticipate risks. The purpose of the study is to review and verify existing methods of collecting data on vegetable crops, in particular onions, using remote sensing technology based on unmanned aircraft systems as the main source of information

Keywords: ONION, UNMANNED AERIAL VEHICLE, SPECTRAL ANALYSIS, MAPPING, YIELD

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-209-021>

При возделывании сельскохозяйственных культур, для мониторинга и оперативной оценки урожайности, возможно применение средств дистанционного зондирования. Информация от источников может быть получена в том числе и при помощи беспилотных авиационных систем с использованием излучений в видимом, инфракрасном и СВЧ диапазонах (длина волны от 0,3 мкм до 100 см). Данные об отражательных и излучательных характеристиках растений, почв, воды, полученные с помощью, дистанционного зондирования, дополненные минимальным количеством почвенных проб достаточны для их идентификации, измерения посевных площадей, оценки плотности всходов, прогнозов

<http://ej.kubagro.ru/2025/05/pdf/21.pdf>

урожая, дальномерных съемок, картографирования основных почвенных зон, а также других целей.

Целью исследования является обзор и проверка существующих методов сбора данных об овощных культурах, в частности лука репчатого, с использованием в качестве основного источника информации технологии дистанционного зондирования на базе беспилотных авиационных систем.

В питание человека репчатый лук занимает если не по количеству, то по своему значению одно из важных мест. В пищу используется и луковицы, и зеленые листья, которые содержат минеральные соли, органические кислоты, витамины А, В₁, В₂, С, РР, эфирные масла, фитонциды и другие микро, и макроэлементы. Острый вкус и специфический запах ему придают эфирные масла. Лук применяется также и в народной медицине – для лечения авитаминозов, воспалительных процессов, инфекционных заболеваний.

Товарно-репчатый лук выращивают из семян, высевая их непосредственно в грунт, и из севка.

Выбор сорта имеет большое значение [1, 2]. В южных регионах РФ как и в Приднестровье распространены следующие сорта: Днестровский и Луганский – позднеспелые полуострые (урожайность 40 – 50 т/га), обладающие крупным размером луковицы (100 – 200 г.), с удовлетворительной лежкостью; Молдавский, Стригуновский местный – среднеспелые острые сорта с урожайностью 25 – 40 т/га, луковицы средние, весом 80 – 150 граммов, имеют высокую лежкость; Касатик – раннеспелый полуострый сорт с урожайностью 40 – 50 т/га, луковицы весом 100 – 150 грамм, хорошей лежкостью; гибрид Антей – раннеспелый острый сорт с урожайностью 20 – 30 т/га, луковицы средние – 60 – 80 грамм, с хорошей лежкостью.

Сама культура репчатый лук - холодостойкая. Семена его начинают прорастать при температуре +1 - +2⁰С. При температуре +14 - +15⁰С всходы

появляются через две недели после посева. Они могут выдерживать заморозки до 2 – 3⁰С. Корневая система лука мочковатая, большая часть корней располагается на глубине 25 – 35 см.

Применение средств дистанционного зондирования для оценки урожайности, возможно, использовать при условии, если исследуемый объект можно опознать по его спектральной характеристике, если разложить отраженную или излучаемую им энергию на участки спектра с четко определенными длинами волн.

Датчики с широкой полосой спектральной чувствительности не могут «различать» сельскохозяйственные культуры. Чтобы улучшить избирательную способность таких датчиков возможно применение многоспектрального метода, т.е. раздельное измерение и анализ излучения в нескольких дискретных диапазонах волн.

Спектральные характеристики овощных культур зависят от таких факторов, как морфология и пигментация листьев, геометрия листовенного шатра, цветения, подпочвенных слоев, погоды.

Листья растений обладают сравнительно низкой отражательной способностью в видимой части спектра (0,4-0,7 мкм). В этой части спектра имеется лишь небольшой пик на длине волны 0,53 мкм (рис. 1).

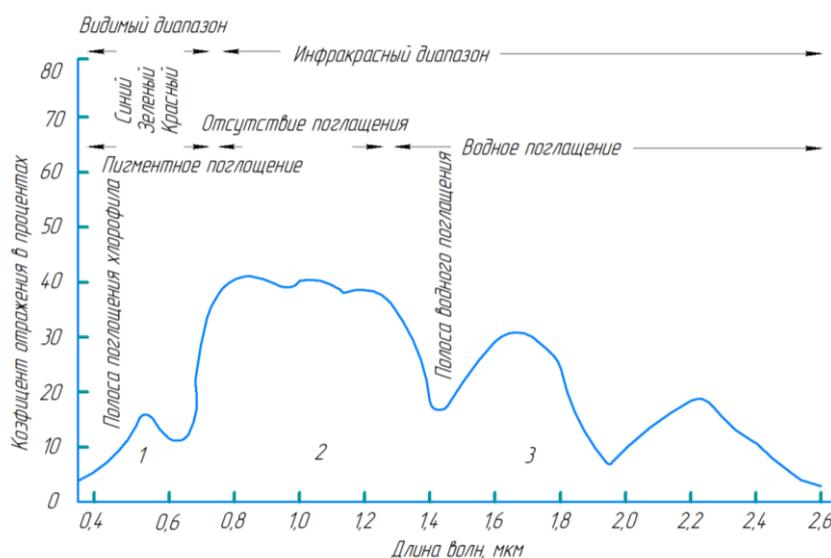


Рис. 1. Характеристики отражения зеленых листьев: 1 – участок видимых

излучений, спектральная характеристика которого определяется пигментом листьев; 2 – участок от 0,72 до 1,3 мкм, где очень низкое поглощение и где большая часть энергии либо пропускается, либо отражается; 3 – участок водного поглощения от 1,3 до 3,0 мкм.

На ближнем инфракрасном участке их отражательная способность значительна, но уже при длине волны 2,5 мкм она близка к нулю. С этой точки начинает преобладать коэффициент излучения. Спектральная характеристика пропускания аналогична характеристике отражения.

Низкая отражательная и пропускная способности в видимом диапазоне спектра обусловлена высоким поглощением в пигменте листьев, и в первую очередь в хлорофилле. Однако пигмент очень хорошо пропускает инфракрасное излучение, а высокая отражательная способность на этих длинах волн обусловлена внутриклеточной структурой листьев, о чем свидетельствует сходство характеристик пропускания и отражения. Низкие значения этих коэффициентов на длинах волн 1,45; 1,96 и 2,6 мкм вызваны сильным поглощением в парах воды.

Другими важными физиологическими факторами, которые определяют отражательную способность листьев, являются созревание, старение и влагосодержание. Обычно по мере созревания листьев их отражательная способность в видимом диапазоне спектра падает, а в инфракрасном — возрастает. Это объясняется тем, что в зрелых листьях мезофилл содержит больше межклеточных воздушных пузырьков, чем это бывает в плотных молодых листьях.

С уменьшением содержания влаги в листьях растет их отражательная способность в видимом и инфракрасном диапазонах. Однако поскольку при содержании влаги в листьях более 50% изменение коэффициента отражения незначительно, оно не может служить достаточно надежным индикатором начала водного голодания (рис. 2).

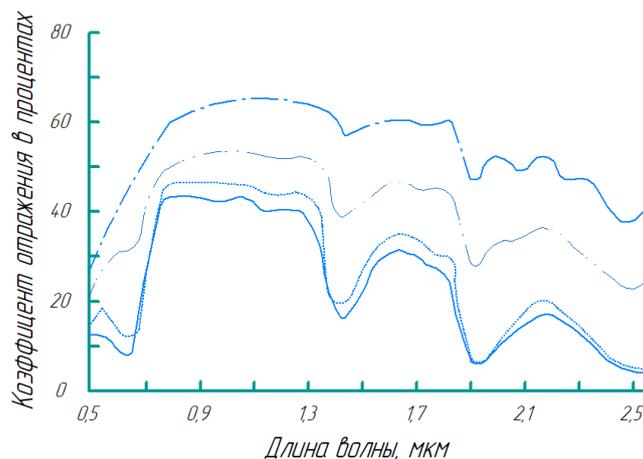


Рис. 2. Влияние влагосодержания листьев на спектр отражения: влагосодержание в процентах для кривых: —·—·— 0-40%; ····· 40-50%; — — — — 54-60%; — — — — 66-98%.

Значительно влияет на степень отражения, пропускания и поглощения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах недостаток питательных веществ. Недостаточность питания ведет к уменьшению хлорофилла и понижает степень поглощения на волнах 0,53 и 0,64 мкм. Обнаружена прямая зависимость между влагосодержанием и поглощением на волнах длиной 1,45 и 1,93 мкм. Листья растений, испытывающих недостаток в фосфоре и кальции, в ближнем инфракрасном диапазоне поглощают меньше энергии по сравнению с нормально развивающимися растениями, в то же время как листья растений, которым недостает серы, магния, калия и азота в этом диапазоне спектра имеют больший коэффициент поглощения.

Характеристики отражения отдельных листьев являются основой для оценки отражательной способности листовых шатров овощных культур и особенно лука репчатого. Однако связь между этими показателями имеет более сложный характер, так как на нее влияют многие факторы.

Проведенные исследования показали, что площадь листового покрова и процент экранирования почвы являются двумя наиболее важными факторами, которые воздействуют на отражательную способность листового шатра. При помощи спектрорадиометра

ТКА-Спектр проводились измерения отражательной способности пяти сортов лука репчатого, выращенных на темных и светлых почвах. Была обнаружена четкая взаимосвязь индекса листовного покрова и коэффициента отражения в ближнем инфракрасном диапазоне. Коэффициент отражения увеличивался по линейному закону при изменении значений индекса от 0,5 до 3; дальнейшее увеличение индекса оказывало сравнительно слабое влияние на коэффициент отражения. Была также отмечена значительная зависимость отражательной способности листовных шатров от типа почвы, особенно при малых листовных покровах и низкой степени экранирования почвы. После того как прекращается рост растений, их отражательная способность в инфракрасном диапазоне начинает падать по мере созревания.

У лука-репки, пораженного болезнью и испытывающего недостаток азота, отмечалась повышенная отражательная способность в диапазоне спектра поглощения хлорофилла и пониженная отражательная способность в зеленой области спектра и в диапазоне инфракрасного отражения. Разница в коэффициентах отражения была связана с изменением геометрии листовных шатров и отражательных способностей отдельных листьев. Недостаток азота увеличил коэффициент отражения в видимом диапазоне и уменьшил этот коэффициент в инфракрасном участке по сравнению с теми же величинами для шатров, которые получали достаточное количество азотных удобрений [3-5].

Листва здоровых растений приобретает на снимках ярко-красный или фуксиновый цвет и различные виды растений можно зачастую различить по интенсивности цвета. Для больной, поврежденной или умирающей растительности характерен «уход» от красного цвета. Все отклонения растений от красного цвета можно объяснить недостаточно высоким или уменьшающимся коэффициентом отражения в инфракрасном диапазоне. Болезни, повреждения и физиологические стрессы растений меняют

геометрию и плотность листвы, а также отражательную способность отдельных листьев. Эти изменения находят свое отражение как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах спектра. Для дистанционного зондирования необходимо применять датчики, которые работают в видимом и в СВЧ диапазонах электромагнитного спектра. Эти участки спектра наиболее перспективны для сельскохозяйственных съемок. Основными приборами для работы в этих диапазонах являются фотоаппараты, многоспектральные сканирующие устройства, тепловые инфракрасные сканирующие устройства, радиолокационные станции и пассивные радиометры сантиметрового диапазона.

Многоспектральные оптико-механические сканирующие устройства обеспечивают сбор информации в видимом и инфракрасном участках спектра в диапазоне 0,3-14,9 мкм (рис. 3) [6-8]. Во время надземного перемещения, зеркало последовательно сканирует земную поверхность. Благодаря вращательному движению этого зеркала измеряется энергия излучения вдоль линии сканирования. Одновременно с этим аппарат движется вперед в направлении перпендикулярной линии сканирования, поэтому в поле зрения прибора попадают все новые участки земной поверхности, что позволяет прозондировать сплошной участок поверхности в нескольких диапазонах, которые в сумме могут охватить весь оптический участок электромагнитного спектра.

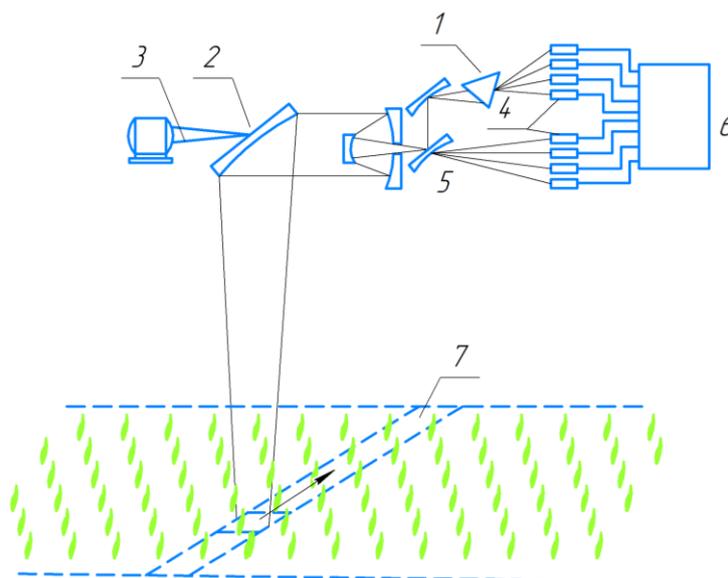


Рис. 3. Схема опико-механического сканирующего устройства: 1 – призма; 2 – сканирующее зеркало; 3 – двигатель; 4 – датчики; 5 – дихроичная решетка; 6 – записывающее устройство; 7 – линия раstra сканирования.

Сигналы детекторов усиливаются и передаются непосредственно на считывающее устройство. Преимуществом такого способа зондирования является получение единого набора данных, содержащих всю спектральную информацию о конкретном объекте.

В то время как фотографические системы сбора данных дают более высокую пространственную точность, а опико-механические сканирующие устройства отличаются лучшей разрешающей способностью по спектру.

В тепловых инфракрасных сканирующих устройствах регистрируется энергия, которая излучается объектом исследования. Поскольку сигналы тепловых датчиков не зависят от отраженной энергии, их можно использовать и ночью, и днем. Эти датчики могут работать лишь в «атмосферных окнах» в диапазонах 3,5-5,5 и 8-14 мкм из-за атмосферных поглощений в парах воды, двуокиси углерода, кислорода и озона.

Дистанционное зондирование наиболее эффективно на больших площадях, а не на отдельных полях или участках полей и в тех случаях,

когда листовые шатры развиты хорошо и их реакция на облучение превосходит реакцию почвенного фона.

Возможность прогнозирования и оценки предполагаемого урожая зависят от способности определить вид культуры и такие агрономические факторы, как спелость, плотность посева, жизнестойкость и болезни растений. Исследования показывают, что результаты дистанционных спектральных измерений коррелированы с урожаем овощных, а также с такими характеристиками растений, как индекс листового покрова и заболевания. Однако для того, чтобы эффективно использовать эти функциональные зависимости, необходимо располагать историческими сведениями об урожаях, почвах, фенологии и погоде. Пополнение дистанционного зондирования другой информацией повышает качество прогнозирования урожая.

Получаемые со спутников визуальная информация и данные об излучательной способности обеспечивают достаточно точные сведения о наличии, распределении и состоянии посевов.

Многоспектральное дистанционное зондирование может применяться для анализа почв. Эффективную помощь для почвенной съемки могут оказать обработанные на ЭВМ данные, полученные от многоспектрального сканирующего устройства, поскольку при этом можно быстро идентифицировать изменения почвенных характеристик, выделить измерения в оттенках почв, а также изменения в тех характеристиках, которые связаны с оттенками почвы, например, содержание органического вещества. Изменения в текстуре поверхности также влияют на отражательную способность почвы.

Литература

1. Генофонд растений как стратегический фактор стабильности развития Российской Федерации: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, проходящей в рамках Всероссийского координационного совета по зернофуражным культурам и Второго научного Форума «Генетические ресурсы

России», Санкт-Петербург, 28–30 июня 2023 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова", 2023. – 154 с. – ISBN 978-5-907145-95-5. – DOI 10.30901/978-5-907145-95-5.

2. Михайлов, В. С. Совершенствование процесса высева семян лука репчатого пневматическим высевающим аппаратом : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Михайлов Владимир Сергеевич, 2024. – 172 с.

3. Обзор технологий и комплекса машин для послеуборочной доработки семян репчатого лука / В. Г. Козлов, В. С. Михайлов, А. В. Димогло [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 204. – С. 91-103. – DOI 10.21515/1990-4665-204-001.

4. Родимцев, С. А. Сравнительная оценка новых систем защиты и прогнозирования урожайности зерновых культур на основе данных NDVI / С. А. Родимцев, Н. Е. Павловская // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 1(190). – С. 69-79. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-1-69-79.

5. Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : Материалы XIII Международной ландшафтной конференции: в 2 томах, Воронеж, 14–17 мая 2018 года. Том 2. – Воронеж: Издательство Истоки, 2018. – 426 с. – ISBN 978-5-4473-0192-7.

6. Спеньков, К. А. Обработка изображений с целью определения динамики развития растительного покрова / К. А. Спеньков, О. Р. Никитин, В. М. Гаврилов // Методы и устройства передачи и обработки информации. – 2019. – № 21. – С. 31-35.

7. Якушев, В. П. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве / В. П. Якушев, Ю. Г. Захарян, С. Ю. Блохина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19, № 1. – С. 287-294. – DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-1-287-294.

8. Якушев, В. П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета "умное сельское хозяйство" России / В. П. Якушев // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2019. – № 2. – С. 11-15. – DOI 10.30850/vrsn/2019/2/11-15.

References

1. Genofond rastenij kak strategicheskij faktor stabil'nosti razvitiya Rossijskoj Federacii: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, prohodjashchej v ramkah Vserossijskogo koordinacionnogo soveta po zernofurazhnym kul'turam i Vtorogo nauchnogo Forumu «Geneticheskie resursy Rossii», Sankt-Peterburg, 28–30 iyunya 2023 goda. – Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie \"Federal'nyj issledovatel'skij centr Vserossijskij institut geneticheskikh resursov rastenij imeni N.I. Vavilova\", 2023. – 154 s. – ISBN 978-5-907145-95-5. – DOI 10.30901/978-5-907145-95-5.

2. Mihajlov, V. S. Sovershenstvovanie processa vyseva semyan luka repchatogo pnevmaticheskim vysevayushchim apparatom : dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskix nauk / Mihajlov Vladimir Sergeevich, 2024. – 172 s.

3. Obzor tekhnologij i kompleksa mashin dlya posleuborochnoj dorabotki semyan repchatogo luka / V. G. Kozlov, V. S. Mihajlov, A. V. Dimoglo [i dr.] // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 204. – S. 91-103. – DOI 10.21515/1990-4665-204-001.

4. Rodimcev, S. A. Sravnitel'naya ocenka novyx sistem zashchity i prognozirovaniya urozhajnosti zernovyh kul'tur na osnove dannyh NDVI / S. A. Rodimcev, N. E. Pavlovskaya // Vestnik KrasGAU. – 2023. – № 1(190). – S. 69-79. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-1-69-79.

5. Sovremennoe landshaftno-ekologicheskoe sostoyanie i problemy optimizacii

prirodnoj sredy regionov : Materialy XIII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii: v 2 tomah, Voronezh, 14–17 maya 2018 goda. Tom 2. – Voronezh: Izdatel'stvo Istoki, 2018. – 426 s. – ISBN 978-5-4473-0192-7.

6. Spen'kov, K. A. Obrabotka izobrazhenij s cel'yu opredeleniya dinamiki razvitiya rastitel'nogo pokrova / K. A. Spen'kov, O. R. Nikitin, V. M. Gavrilov // *Metody i ustrojstva peredachi i obrabotki informacii*. – 2019. – № 21. – S. 31-35.

7. Yakushev, V. P. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya distancionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom hozyajstve / V. P. Yakushev, Yu. G. Zaharyan, S. Yu. Blohina // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. – 2022. – T. 19, № 1. – S. 287-294. – DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-1-287-294.

8. Yakushev, V. P. Cifrovye tekhnologii tochnogo zemledeliya v realizacii prioriteta \“umnoe sel'skoe hozyajstvo\” Rossii / V. P. Yakushev // *Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. – 2019. – № 2. – S. 11-15. – DOI 10.30850/vrsn/2019/2/11-15.