

**О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ
VNIR-ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИБОРАМИ НА СТАЦИОНАРНОЙ БАЗЕ
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ПОЧВЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ**

**ON THE DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR DETECTING VNIR-
IMAGES WITH INSTRUMENTS ON A STATIONARY BASE FOR REMOTE
SENSING ASSESSMENT OF PLANT AND SOIL OBJECTS**

**Новиков А.И., д.т.н., ведущий научный сотрудник
Комаров А.А., д.с.-х.н., главный научный сотрудник**

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Arthur.Novikov@agrophys.ru

Новикова Т.П., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

имени Г.Ф. Морозова»

г. Воронеж, Россия

Чесноков Ю.В., д.б.н., член-корреспондент РАН

Агрофизический научно-исследовательский институт

г. Санкт-Петербург, Россия

Novikov A.I., Doctor of Technical Sciences, leading researcher

Komarov A.A., Doctor of Agriculture Sciences, main researcher

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Novikova T.P., CSc (Engineering), Associate Professor

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after

G.F. Morozov»

Voronezh, Russian Federation

Chesnokov Yu.V., Doctor of Biology Sciences, Professor, Corresponding

Member of the Russian Academy of Sciences

Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

Аннотация: В исследованиях дистанционных технологий точного земледелия недостаточно полно представлена информация об оценке состояния растений и почв, основанной на сопряженных ДЗЗ- и наземных измерениях. Разработка методики выбора технических средств в зависимости от целей и задач таких исследований, а также из условий проведения (в стационарном или динамическом режимах), позволит проводить как априорный, так и апостериорный анализы растительных и почвенных объектов.

Summary: In the R&D of remote technologies of precision agriculture, information on the assessment of the state of plants and soils based on coupled remote sensing and ground measurements is not fully presented. The development of a methodology for selecting technical means, depending on the goals and objectives of such studies, as well as on the conditions (in stationary or dynamic modes), will allow for both a priori and a posteriori analysis of plant and soil objects.

Ключевые слова: точное земледелие, дистанционная оценка, захват VNIR-изображения, детектирующая система, автоматизация, управление, почва, растение.

Keywords: smart farming, precision agriculture, remote sensing, VNIR image capture, detection system, automation, control, soil, plant.

В структуре мероприятий по культуртехнической мелиорации агролесных ландшафтов автоматизированная система для обнаружения и идентификации спектрального отклика поверхности почвы и проекции растения на стрессоры (температуру, влажность, зараженность вредителями или болезнями и т.п.) или на агротехнологии для повышения продуктивности (внесение удобрений, обработка биопрепаратами и т.п.), которая бы оценивала состояние всего поля, позволила бы увеличить фактическую площадь обследования и, таким образом, повысить вероятность выявления очагов воздействия, сократить количество человеко-часов, необходимых для обследования, и повысить точность идентификации отклика [1]. Автоматизированная система может генерировать пространственное распределение отклика по воздействию внешних факторов для разработки точных тактических приёмов для возможного управления процессом онтогенеза культур.

Аграрная и лесная отрасли выиграли бы от автоматизированного метода раннего обнаружения, который помог бы фермерам и лесоведам принимать своевременные управленческие решения и оптимизировать воздействие на культуры в поле [2,3]. Технологические достижения в области компьютерного

зрения, мехатроники, искусственного интеллекта и машинного обучения [4] позволили разработать и внедрить методики захвата изображения в оптическом [5-7], рентгеновском и других диапазонах длины волны. Эти методики возможны к использованию для различения множества похожих насекомых [8], симптомов заболеваний [8] и сорняков [9].

Для фенотипирования растений и выявления болезней было разработано несколько методов, основанных на применении беспилотного летательного аппарата (БПЛА) [10] в качестве борта для перемещения полезной нагрузки в виде детектирующей системы получения изображений. Ампатзидис и Партел [11] разработали высокопроизводительную систему фенотипирования цитрусовых культур на основе БПЛА с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта, которая может точно обнаруживать и подсчитывать цитрусовые деревья, измерять размер их кроны, подсчитывать промежутки между деревьями и создавать карты состояния здоровья отдельных деревьев с помощью нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Кальдерон и др. [12] отслеживали развитие вертициллёзного увядания на оливковых деревьях с помощью различных типов систем захвата изображения (тепловизионных, гиперспектральных и мультиспектральных), установленных на борту БПЛА. Они рассчитывали концентрацию хлорофилла ($a + b$) и индексы каротиноидов ($B/G/R$) для мониторинга водного стресса, поскольку поток воды блокируется патогеном *Verticillium wilt*, который колонизирует сосудистую систему и в конечном итоге приводит к водному стрессу. Хуан и др. [13] дистанционно, с помощью установленной на борту квадоторного БПЛА Phantom 4 (DJI Co., Шэньчжэнь, Китай) стандартной RGB-системы захвата изображения, обследовали поля пшеницы, поражённые пятнистостью листьев, вызванной гельминтоспориозом, на четырёх стадиях развития болезни, чтобы определить заражённую территорию и разработать новые методы опрыскивания. Абдулриджа и др. [14] разработали метод спектрального дистанционного (10 м) детектирования для раннего выявления увядания лавровых деревьев на растениях авокадо с помощью двух видов полезной нагрузки – мультиспектральной камеры Tetra mini (Tetracam, Inc., Калифорния, США) и гиперспектральных и модифицированной камеры Canon SX260 NDVI (Canon U.S.A., Inc., Мелвилл, Нью-Йорк, США), установленных на базе подъемного крана. Калибровка систем захвата изображения проводилась в полевых условиях с использованием белой (отражающая способность 99%) и чёрной (отражающая способность 1%) панелей. Они оце-

нили несколько индексов растительности (VI) для раннего выявления увядания лавра и достигли общей точности выявления более 95%.

Таким образом, использование инструментальных детектирующих систем захвата изображения в V-NIR спектральном диапазоне длины электромагнитной волны, базирующихся как на динамической (БПЛА) [11-13], так и на стационарной платформах [14], позволит осуществлять раннюю диагностику и прогнозирование, а также последующие анализ и планирование мероприятий как по повышению продуктивности агрокультур, так и по культуртехнической мелиорации ландшафтов.

Однако в настоящее время отсутствует стандартизированная методика и существует достаточно мало информации об оценке состояния растений и почв, основанная на сопряженных дистанционных (ДЗЗ-) и наземных измерениях.

С целью разработки стандартной методики мониторинга состояния растительных и почвенных объектов в динамике их развития предлагается сформировать стационарную систему оценки с помощью V-NIR изображений и сопряженных наземных измерений на идентификационных полевых площадках.

Укрупненно методика инструментального детектирования состояния растительных и почвенных объектов на основе V-NIR изображений будет включать:

- 1) Формирование элементарных площадок площадью 1 м² оценки состояния растительного и почвенного покрова.
- 2) Разработку достаточных для цели эксперимента режимов захвата изображения оцениваемых площадок в разных условиях светового режима с выходом на стандарт (первый стандарт);
- 3) Разработку достаточных для цели эксперимента высотных параметров (высоты над поверхностью оцениваемого растительного или почвенного объекта) для фиксированного положения системы захвата изображений (полезной нагрузки) над стационарными площадками площадью 1 м² (второй стандарт).
- 4) Апробацию методики в полевых условиях.

При этом важно, исходя из целей и задач полевого эксперимента, а также из условий проведения, сформировать следующий алгоритм выбора технических средств:

1. Выбор системы захвата изображения (полезной нагрузки) исходя из целей конкретного полевого эксперимента на основании соответствующей методики

2. Выбор стационарного или динамического типов базового носителя системы захвата изображения (полезной нагрузки) в зависимости от целей и условий проведения полевого эксперимента

3. Определение минимаксного диапазона дистанции N детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) от объекта

4. Определение тарифовочных параметров детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) для сглаживания «белого шума»

5. Определение уровня точности (разрешения) детектирующей системы захвата изображения (полезной нагрузки) в зависимости от целей полевого эксперимента

6. Унификация условий приведения параметров детектирующей системы захвата изображения и освещенности объекта к единому критерию сравнения.

7. Определение методики и критерия дешифрирования данных системы захвата изображения.

8. Разбивка поля, координатная привязка.

9. Разработка схемы подвеса и крепления системы захвата изображения на платформе стационарного типа, или при необходимости и возможности, разработка полетного задания для борта БПЛА, согласование плана полетов борта БПЛА с Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиацией).

10. ДЗЗ-измерения сегментированных участков поля с помощью системы захвата изображения, установленной на стационарной или динамической базовой платформах, в сроки и на месте, определенном соответствующей утвержденной методикой полевого опыта.

11. Дешифрирование и преобразование ДЗЗ-данных в цифровой формат для последующего статистического и математического анализов.

Таким образом, детектирование и сравнение почвенных и растительных объектов по сегментированным V-NIR изображениям, полученным на определенной дистанции приборами на стационарной базе с использованием существующих и разрабатываемых новых спектральных индексов в сопряжении с наземными измерениями, позволит проводить как априорный, так и апостериорный анализы чувствительности оценки к изменению свойств системы «почва – агрокультура» в ответ на воздействие внешних факторов.

Список литературы

1. Luvisi, A. Plant pathology and information technology: Opportunity for management of disease outbreak and applications in regulation frameworks / A. Luvisi, Y.G. Ampatzidis, L.De Bellis // Sustainability. – 2016. – Vol. 8(8). – P. 831. – DOI: 10.3390/su8080831.
2. Картирование QTL у яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в контролируемых условиях агроэкобиополигона / Ю.В. Чесноков, Г.В. Мирская, Е.В. Канап [и др.] // Физиология растений. – 2017. – Т. 64, № 1. – С. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026.
3. Комаров, А.А. Анализ пространственных распределений урожайности для обоснования дифференциации агротехнологии / А. А. Комаров, Ю. Г. Захарян, А. Д. Кирсанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 47. – С. 48-57.
4. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. Da Silva [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI: 10.3390/agriculture12111801.
5. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // Forests. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.
6. Новиков, А.И. Экспресс-анализ лесных семян биофизическими методами : монография / А.И. Новиков. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – 128 с.
7. Соколов, С.В. Новые оптоэлектронные системы экспресс-анализа семян в лесохозяйственном производстве / С.В. Соколов, А.И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9, № 2(34). – С. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.
8. Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence / A.Cruz, Y. Ampatzidis, R. Pierro [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Vol. 157. – Pp. 63-76. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.028.
9. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence / V.Partel, L.Nunes, P.Stansly, Y.Ampatzidis // Computer and Electronics in Agriculture. – 2019. – Vol. 162. – Pp. 328-336.
10. Sokolov, S.V. Adaptive estimation of UVs navigation parameters by irregular inertial-satellite measurements / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // International

Journal of Intelligent Unmanned Systems. – 2020. – Article 0056. – DOI: 10.1108/IJIUS-10-2019-0056.

11. Ampatzidis, Y. UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence / Y.Ampatzidis, , V.Partel //Remote Sensing. –2019. – Vol. 11(4). – P. 410.– DOI: 10.3390/rs11040410.

12. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early, detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices / R.Calderon [et al.]//Remote Sensing of Environment. – 2013. – Vol. 139. – Pp. 231-245.– DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.031.

13. Detection of helminthosporium leaf blotch disease based on UAV imagery / H.S.Huang, J.Z.Deng, Y.B.Lan [et al.]// Applied Sciences-Basel.– 2019. – Vol. 9(3). – P. 558. – DOI: 10.3390/app9030558.

14. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses / J.Abdulridha, R. Ehsani, A. Abd-Elrahma, Y. Ampatzidis // Computers and Electronics in Agriculture. –2019. Vol. 156. – Pp. 549-557. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.018.

References

1. Luvisi, A. Plant pathology and information technology: Opportunity for management of disease outbreak and applications in regulation frameworks / A. Luvisi, Y.G. Ampatzidis, L.De Bellis // Sustainability. – 2016. – Vol. 8(8). – P. 831. – DOI: 10.3390/su8080831.

2. QTL mapping in spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) under controlled conditions of agroecobiopolygon / Yu.V. Chesnokov, G. V. Mirskaya, E. V. Kanash [et al.] // Plant Physiology. – 2017. – Vol. 64, No. 1. – Pp. 55-68. – DOI: 10.7868/S0015330316060026

3. Komarov, A.A. Analysis of spatial distributions of yields to substantiate the differentiation of agricultural technology / A. A. Komarov, Yu. G. Zakharan, A.D. Kirsanov // Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. –2017. – No. 47. – Pp. 48-57.

4. Deep-learning approach for fusarium head blight detection in wheat seeds using low-cost imaging technology / R.C. Bernardes, A. De Medeiros, L. Da Silva [et al.] // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 11. – P. 1801. – DOI: 10.3390/agriculture12111801.

5. Detection of Scots pine single seed in optoelectronic system of mobile grader: mathematical modeling / A.I. Novikov, V.I. Lisitsyn, M. Tigabu [et al.] // *Forests*. – 2021. – Vol. 12, No. 2. – P. 1-18. – DOI: 10.3390/f12020240.
6. Novikov, A.I. Express analysis of forest seeds by biophysical methods : a monograph / A.I. Novikov. – Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2018. – 128 p.
7. Sokolov, S.V. New optoelectronic systems for rapid seed analysis in forestry production / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // *Forestry Journal*. – 2019. – Vol. 9, No. 2(34). – Pp. 5-13. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/1.
8. Detection of grapevine yellows symptoms in *Vitis vinifera* L. with artificial intelligence / A.Cruz, Y. Ampatzidis, R. Pierro [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. –2019.– Vol. 157. – Pp. 63-76.– DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.028.
9. Automated vision-based system for monitoring Asian citrus psyllid in orchards utilizing artificial intelligence / V.Partel, L.Nunes, P.Stansly, Y.Ampatzidis // *Computer and Electronics in Agriculture*. –2019.– Vol. 162. –Pp. 328-336.
10. Sokolov, S.V. Adaptive estimation of UVs navigation parameters by irregular inertial-satellite measurements / S.V. Sokolov, A.I. Novikov // *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*. – 2020. – Article 0056. – DOI: 10.1108/IJIUS-10-2019-0056.
11. Ampatzidis, Y. UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence / Y.Ampatzidis, , V. Partel // *Remote Sensing*. –2019. – Vol. 11(4). – P. 410.– DOI: 10.3390/rs11040410.
12. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early, detection of verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices / R.Calderon [et al.] // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 139. – Pp. 231-245.– DOI: 10.1016/j.rse.2013.07.031.
13. Detection of helminthosporium leaf blotch disease based on UAV imagery / H.S.Huang, J.Z.Deng, Y.B.Lan [et al.] // *Applied Sciences-Basel*.– 2019. – Vol. 9(3). – P. 558. – DOI: 10.3390/app9030558.
14. A remote sensing technique for detecting laurel wilt disease in avocado in presence of other biotic and abiotic stresses / J. Abdulridha, R. Ehsani, A. Abd-Elrahma, Y. Ampatzidis // *Computers and Electronics in Agriculture*. –2019. Vol. 156. – Pp. 549-557. – DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.018.