

## Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве

В. П. Якушев, Ю. Г. Захарян, С. Ю. Блохина

*Агрофизический научно-исследовательский институт  
Санкт-Петербург, 195220, Россия*

*E-mails: vyakushev@agrophys.ru, sblokhina@agrophys.ru*

В сообщении подводятся итоги состоявшейся в Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ) 16–17 сентября 2021 г. Третьей Всероссийской научной конференции с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». В конференции принимали участие 167 учёных и специалистов из 43 научных и образовательных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Хабаровска, Волгограда, Краснодара, Симферополя и других городов России, а также Беларуси, Казахстана и Молдовы, активно занимающихся совершенствованием методов, технологий и средств дистанционного зондирования Земли в интересах сельского хозяйства. Состоялся конструктивный обмен мнениями по эффективности достигнутых результатов в применении методов и технологических сервисов информационного обеспечения сельского хозяйства, решении задач управления системами земледелия нового поколения, диагностики состояния агроценозов, фитосанитарного мониторинга посевов и фитосанитарной безопасности агроэкосистем, поглощении углерода древесно-кустарниковой растительностью, оценки урожайности сельскохозяйственных культур. Обсуждались перспективные подходы, нейросетевые модели и программно-аппаратные средства, предназначенные для совершенствования технологий сбора, обработки и интерпретации спутниковых данных. Для выявления критериев и идентификационных показателей состояния посевов необходимы сопряжённые наземные и дистанционные исследования.

**Ключевые слова:** Всероссийская конференция, дистанционное зондирование Земли, информационные сервисы, мониторинг агроэкосистем, точное земледелие, тесовые площадки, оптические идентификационные показатели

Одобрена к печати: 18.02.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-287-294

16–17 сентября 2021 г. в Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ) была проведена Третья Всероссийская научная конференция с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Эта конференция стала традиционной и является важным мероприятием, на котором происходит обмен новыми теоретическими и практическими результатами исследований по научному сопровождению, применению, совершенствованию и разработке новых методов и средств дистанционного зондирования применительно к задачам мониторинга состояния сельскохозяйственных земель и посевов, а также планирования и оперативного управления прецизионным производством растениеводческой продукции и сырья (Якушев, Блохина, 2018).

Обсуждение актуальных научных направлений, анализ и оценка полученных результатов проводились в рамках пленарного заседания и четырёх секций:

- использование аэрокосмических средств дистанционного зондирования Земли в системах мониторинга агроэкосистем;
- системы, модели, методы и алгоритмы обработки, комплексирования и интерпретации данных дистанционного зондирования для информационного обеспечения процесса управления сельскохозяйственным производством;
- использование методов и средств дистанционного зондирования в точном земледелии и опытном деле;
- дистанционные методы исследования фитосанитарного состояния посевов и способов их защиты от сорняков, вредителей и болезней.

Конференция проходила в очно-заочном формате, который предусматривал последовательное проведение заседаний, что позволило участникам конференции принять участие в обсуждении всех докладов, предусмотренных программой.

В работе конференции приняли участие 167 учёных и специалистов из 43 научных и образовательных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Хабаровска, Волгограда, Краснодара, Симферополя и других городов России, а также Беларуси, Казахстана и Молдовы.

В последние годы наблюдается стремительное развитие спутниковых систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), увеличивается частота и пространственное разрешение спутниковой информации, доступной для проведения постоянного мониторинга состояния сельскохозяйственных земель и посевов, разрабатываются новые подходы и информационные системы для автоматизированной обработки и анализа данных спутниковых наблюдений (Лаврова и др., 2019, 2020; Якушев и др., 2019). Возможности уникальной информационной системы «Vega-Science» Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) по работе со спутниковой информацией, требующей сложной тематической обработки, позволяют пользователям решать научные и производственные задачи мониторинга различных объектов агроландшафтов. В 2021 г. с помощью сервиса «Vega-PRO» (<http://pro-vega.ru/>) по заказу региональных властей выполнено сплошное картографирование участков произрастания борщевика Сосновского на территориях Московской и Ленинградской областей, разработаны методы прогноза урожайности по отдельным муниципальным районам (Клещенко, Савицкая, 2021) с использованием индексов NDVI (*англ.* Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс), VCI (*англ.* Vegetation Condition Index — индекс состояния вегетации) и LAI (*англ.* Leaf Area Index — LAI), полученных на основе информации со спектрорадиометра MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). С 2020 г. действует технология контроля данных на уровне муниципальных районов и субъектов Российской Федерации с использованием средств спутникового мониторинга (СХМП — система контроля данных сельскохозяйственной микропереписи), обеспечивающая новый уровень верификации полученной статистической информации о площадях основных видов сельскохозяйственных угодий (<http://agrocensus21.geosmis.ru/>). Информационная система «Vega-Лес» с 2019 г. позволяет решать задачи комплексного мониторинга лесного фонда России с использованием спутниковых данных и инструментария их автоматизированной обработки, анализа и синтеза (<http://forest.geosmis.ru/>). Пользователям доступна регулярно обновляемая информация: карта растительности России, карта лесов России, запас древесины в лесах, сведения о повреждении лесов пожарами и другими природными и хозяйственными факторами, оценка объёмов поглощения атмосферного углерода древесно-кустарниковой растительностью. Лесной фонд — основной стабилизирующий элемент климатической системы стока парниковых газов в наземные экосистемы. Поэтому в рамках Парижского соглашения ООН 2016 г. Россия взяла на себя обязательство к 2030 г. сократить выбросы парниковых газов до уровня 70–75 % от объёма выбросов 1990 г. при условии максимального учёта поглощающей способности лесов.

Использование ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» ИКИ РАН в настоящее время даёт возможность существенно повысить качество информационного обеспечения сельского, водного и лесного хозяйств, мониторинга состояния различных природных объектов и явлений.

Вместе с тем из-за сложностей дешифрирования информации спутниковые снимки практически не используются при управлении производственным процессом и потенциальным урожаем сельскохозяйственных культур непосредственно на полях конкретных хозяйств, что сдерживает масштабы применения данных ДЗЗ при проектировании и реализации адаптивно-ландшафтных систем земледелия (Якушев, 2021).

В настоящее время отмечается возрастающий интерес к гиперспектральным изображениям для обнаружения едва заметных различий растительного и почвенного покрова (абиотические и биотические стрессы), что открывает новые возможности для мониторинга, особенно для изучения изменчивости состояния посевов и почвы и поддержки технологий точного земледелия. Гиперспектральная съёмка используется в сельском хозяйстве для широкого

спектра задач, включая оценку как биохимических (содержание хлорофилла, каротиноидов и воды), так и биофизических (LAI, биомасса) характеристик посевов для понимания физиологического состояния и прогнозирования урожайности, оценку состояния питательных веществ (например, дефицита азота), мониторинг заболеваний культур и изучение свойств почвы (таких, например, как влажность, содержание органического вещества и углерода). Из-за ограниченной доступности вне научного сообщества гиперспектральные изображения пока не получили широкого применения в точном земледелии, так как обработка и анализ гиперспектральных изображений по-прежнему остаются сложной научной задачей.

На сегодняшний день в области обработки данных ДЗЗ ситуация характеризуется расширением функциональных возможностей и спектра выполняемых задач. Для работы с предварительно обработанными гиперспектральными изображениями требуются надёжные и эффективные аналитические методы анализа огромного объёма информации (спектральных, пространственных и текстурных особенностей) и извлечения конкретных характеристик посева и почвы. В научных исследованиях используется целый набор аналитических методов, включая регрессионный анализ, машинное и глубокое обучение (например, свёрточные нейронные сети).

Участникам конференции представлены возможности разработанной компанией ООО «КонтролТюГоу.Ру» (Москва) системы CLASS (*англ.* Crop Loss Assessment Software System) для автоматизированной оценки состояния посевных площадей на различных этапах развития возделываемых культур, прогнозирования урожайности, выявления объёма потерь урожая по данным ДЗЗ, а также рациональной организации, планирования и проведения полевых экспериментов. Система CLASS способствует оптимизации затрат и повышению эффективности деятельности участников рынка сельскохозяйственного страхования. Применённый в системе подход заключается в сочетании методов машинного обучения и имитационных моделей продукционного процесса. Имитационные модели (AGROTOOL, MONICA, ORYZA, WOFOST) применялись для оценки урожайности. Методы машинного обучения используются как для классификации культур, так и для оценки урожайности. Применимость нейронных сетей проверяли для классификации сельскохозяйственных культур после преобразования данных в признаки временных рядов. Особое внимание уделялось проверке исходных данных. При помощи методов машинного обучения (*англ.* machine learning — ML) (распознавания образов) обеспечена проверка наличия требуемых элементов, а также их уникальность. Некоторые результаты на момент доклада: проведено более 10 000 измерений фактической урожайности; создано более 500 ML-моделей и ансамблей; выполнено более 6 000 000 оценок урожайности.

Учёными АФИ с 2019 г. проводятся исследования по расширению возможностей использования спутниковых данных в системах точного земледелия. Разработаны два новых метода определения внутривидовой изменчивости с применением вариограммного анализа и комплексной оценки динамики значений различных индексов отражения, которые можно вычислять по гиперспектральным снимкам. Динамика изменения значений конкретных индексов позволяет оценивать физиологическое состояние сельскохозяйственных культур и выявлять действие различных стрессоров, угнетающих растения, а также выделять границы их негативного влияния на заданной территории (Якушев и др., 2020а). Эффективность вариограммного анализа подтверждена результатами сравнительных вычислительных экспериментов. За основу взяты эмпирические вариограммы, построенные по картам распределения вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по спутниковым снимкам объектов исследования (Якушев и др., 2020б, в).

Для развития систем точного земледелия в настоящее время необходима принципиально новая методологическая, физико-техническая и экспериментальная база, которая стала бы основным структурным компонентом при оценке вариативности характеристик посевов и мониторинга их состояния. Отмечается важная роль тестовых площадок, своеобразных эталонов для выявления различных связей и закономерностей между оптическими показателями и изучаемым интервалом изменений управляемых факторов продуктивности сельскохозяйственных культур, в полевых исследованиях при разработке новых методов

по выявлению идентифицирующих показателей для оценки состояния посевов (Комаров и др., 2021; Матвеев, Воропаев, 2021; Шпанев, Смук, 2021). На тестовых площадках физически моделируются различные условия возделывания сельскохозяйственных культур.

Значительная часть представленных на конференции докладов посвящена применению математических моделей, данных ДЗЗ и наземных информационно-измерительных систем в задачах диагностики, мониторинга, оценки состояния растений и среды их обитания, а также прогноза динамики продукционного процесса сельскохозяйственных культур и ожидаемой урожайности.

Технические усовершенствования съёмочной аппаратуры привели к расширению разнообразия предоставляемых наборов данных ДЗЗ за счёт увеличения пространственного и спектрального разрешения, а также повторяемости сеансов съёмки. Достоверность параметризации многих моделей роста и развития агрофитоценозов повысилась при использовании данных о плотности растений, динамике альбедо, LAI, биохимических показателях листовой поверхности, потоках суммарного испарения, появилась возможность характеризовать влажность как листовой поверхности растительного покрова за счёт использования данных канала RedEdge (Зейлигер, Ермолаева, 2021), так и поверхностного слоя почвенного покрова с помощью данных в сверхвысокочастотном диапазоне (Музылев и др., 2021). Это позволяет использовать разработанные динамические модели роста и развития агрофитоценозов, влаго- и теплообмена поверхности суши с атмосферой LSM (*англ.* Land Surface Model) как для углубления существующих фундаментальных знаний об основных протекающих процессах, так и для применения результатов моделирования в технологиях точного земледелия.

Мониторинг влажности почвы и её пространственно-временной динамики на большой площади по-прежнему остаётся сложной задачей. В настоящее время спутниковые методы дистанционного зондирования Земли представляются достаточно эффективным средством для крупномасштабного определения и мониторинга поверхностных характеристик почв с приемлемым временным и пространственным разрешением. Спутниковая оценка текстуры и влажности в верхнем слое почвы (0–10 см) по радарным и оптическим данным аппаратов Sentinel (Родионова и др., 2021) позволяет дистанционно сравнить степень увлажнения верхнего слоя почвы для разных тестовых участков при отсутствии наземных измерений.

Для калибровки и проверки достоверности полученных спутниковых данных о характеристиках почвы необходимы измерения *in situ* с помощью наземных информационно-измерительных систем. Быстрое развитие технологий Интернета вещей (*англ.* Internet of Things — IoT), наблюдаемое в последние годы, позитивно влияет на расширение возможностей оперативного сбора широкого набора разнородных данных о состоянии почв, посевов и метеоусловий в интеллектуальном сельском хозяйстве, открывая перспективы для создания базовой инфраструктуры с целью подключения различных интеллектуальных объектов для автоматизации технологических операций. Для оперативного мониторинга локальных метеоусловий, влажности и температуры почвы разработана аппаратная и программная архитектура системы IoT для измерения и стабильной передачи данных с различных типов датчиков и сенсорных узлов (Блохин и др., 2021).

Управление фитосанитарным состоянием посевов — один из наиболее эффективных рычагов повышения продуктивности и улучшения качества сельскохозяйственной продукции. Ключевым аспектом при этом становится максимальное ограничение негативного воздействия на объекты окружающей среды за счёт полноценной реализации принципа пространственной дифференциации. Изучением пространственной неоднородности фитосанитарного состояния посевов и посадок сельскохозяйственных культур активно занимаются в мире на протяжении трёх последних десятилетий. При этом наибольшие успехи достигнуты в изучении пространственного размещения в агроценозах сорных растений, что обусловлено их биологическими особенностями, а именно произрастанием на одном месте и адаптацией к специфическим почвенно-экологическим условиям, пестрота которых может достигать 50 % (Шпанев, Смук, 2021). На экспериментальной базе Меньковского филиала АФИ проводятся исследования по изучению неоднородности фитосанитарного состояния агробиоценозов. Одновременно с классическими наземными методами учёта проводится аэрофотосъёмка

и построение карт пространственного распространения сорных растений и вредителей в посевах сельскохозяйственных культур с учётом особенностей микрорельефа, содержания элементов питания и кислотности пахотного горизонта почвы.

В отличие от сорных растений распознавание с помощью дистанционных методов поражения растений грибными, вирусными, бактериальными и нематодными болезнями оказывается более сложной задачей, так как их проявление необходимо регистрировать на начальном этапе развития, а в ряде случаев и в латентной форме. Необходимо разрабатывать новые дистанционные методы фитосанитарного мониторинга на основе получения спектральных характеристик растительности, определять информативные признаки здоровых и больных растений, а также повреждённых вредителями для эффективного использования средств защиты растений и оценки фитосанитарных рисков с учётом качества урожая и экологической безопасности для окружающей среды (Захаренко, 2021).

Анализ характеристик отражательной способности больных и здоровых растений, а также поражённых колорадским жуком и золотистой картофельной нематодой показывает, что на начальном этапе развития болезней без видимых визуальных признаков наблюдается существенное снижение спектральной яркости в ближнем инфракрасном диапазоне по сравнению со здоровыми растениями (Павлюшин, Лысов, 2021). Формирование баз данных на основе библиотек спектральных образов здоровых и больных растений, а также испытывающих дефицит минерального питания или почвенной влаги позволит принимать обоснованные и оперативные решения по стабилизации фитосанитарной обстановки или необходимости проведения комплекса агротехнических мероприятий для снятия стрессовых ситуаций в посевах, вызванных другими факторами.

По результатам конференции был подготовлен и выпущен электронный сборник материалов ([http://www.agrophys.ru/Media/Default/Conferences/2021/Remote\\_sensing/Sbornik\\_DZZ\\_2021.pdf](http://www.agrophys.ru/Media/Default/Conferences/2021/Remote_sensing/Sbornik_DZZ_2021.pdf)), который размещён также на сайте научной электронной библиотеки Elibrary и индексируется в системе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).

## Литература

1. *Блохин Ю. И., Белов А. В., Блохина С. Ю., Двирник А. В.* Информационно-измерительная IoT система мониторинга гидротермических показателей почвы и локальных метеоусловий // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с. х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 183–187.
2. *Захаренко В. А.* Развитие дистанционных методов мониторинга фитосанитарного состояния агроэкосистем России при использовании пестицидов (состояние и перспективы) // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с. х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 68–70.
3. *Зейлигер А. М., Ермолаева О. С.* Методы, масштабы и данные дистанционного зондирования в моделях роста и развития агрофитоценозов // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с. х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 20–23.
4. *Клещенко А. Д., Савицкая О. В.* Оценка урожайности озимой пшеницы на основе комплексирования наземных и спутниковых данных для отдельных районов Северо-Кавказского и Приволжского УГМС // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с. х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 46–50.
5. *Комаров А. А., Ирмулатов Б. Р., Якушев В. В., Кирсанов А. Д., Захарян Ю. Г.* Использование данных дистанционного зондирования для управления продуктивностью пшеницы в условиях аридной зоны (на примере Северного Казахстана) // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с. х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 51–55.
6. *Лаврова О. Ю., Лунян Е. А., Барталев С. А.* Итоги Семнадцатой всероссийской открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 6. С. 305–310. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-305-310.

7. Лаврова О. Ю., Луян Е. А., Барталев С. А., Кобец Д. А. Итоги и особенности Восемнадцатой Всероссийской открытой конференции с международным участием «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 292–296. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-292-296.
8. Матвеев Д. А., Воронаев В. В. Организация полевых опытов по формированию опорной информации для интерпретации аэрокосмических снимков // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 94–98.
9. Музылев Е. Л., Старцева З. П., Волкова Е. В., Василенко Е. В. Использование спутниковых данных разных спектральных диапазонов при оценке влагообеспеченности засушливых сельскохозяйственных регионов // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 39–45.
10. Павлюшин В. А., Лысов А. К. Фитосанитарное проектирование агроэкосистем и дистанционное зондирование // Применение средств дистанционного зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 8–14.
11. Родионова Н. В., Кудряшова С. Я., Чумбаев А. С. Спутниковая оценка текстуры и влажности почвы по радарным и оптическим данным аппаратов Sentinel на примере Новосибирской области // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 178–182.
12. Шпанев А. М., Смур В. В. Методология изучения пространственной гетерогенности фитосанитарного состояния агробиоценозов средствами геоинформационных систем // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 71–75.
13. Якушев В. П. Дистанционное зондирование: от задач к масштабируемости результатов в современном земледелии // Применение средств дистанц. зондирования Земли в с.х.: материалы 3-й Всероссийской науч. конф. с международ. участием. Санкт-Петербург. 16–17 сент. 2021. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 3–7.
14. Якушев В. П., Блохина С. Ю. Состояние и перспективы использования дистанционного зондирования Земли в интересах сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 257–262. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-257-262.
15. Якушев В. П., Дубенок Н. Н., Луян Е. А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 11–23. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23.
16. Якушев В. П., Петрушин А. Ф., Матвеев Д. А., Блохина С. Ю., Канаши Е. В., Якушев В. В. (2020а) Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // Вестн. российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 4–10. DOI: 10.30850/vrsn/2020/2/4-10.
17. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П., Петрушин А. Ф., Блохина С. Ю., Якушев В. В. (2020б) Оценка внутриполевой изменчивости посевов с помощью вариограммного анализа спутниковых данных для точного земледелия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 114–122. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-114-122.
18. Якушев В. П., Буре В. М., Митрофанова О. А., Митрофанов Е. П. (2020в) Применение методов геостатистики для анализа целесообразности перехода к технологиям дифференцированного внесения агрохимикатов // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2020. Т. 16. № 1. С. 31–40.

## Current problems and prospects for the use of remote sensing of the Earth in agriculture

V. P. Yakushev, Yu. G. Zakharyan, S. Yu. Blokhina

*Agrophysical Research Institute, Saint Petersburg 195220, Russia*

*E-mails: office@agrophys.ru, sblokhina@agrophys.ru*

The report summarizes the results of the Third All-Russia Scientific Conference with International Participation “The Use of Remote Sensing of the Earth in Agriculture” held at the Agrophysical Research Institute in Saint Petersburg, Russia, on September 16–17, 2021. The conference was attended by 167 researchers and specialists from 43 organizations from Moscow, Saint Petersburg, Khabarovsk, Volgograd, Krasnodar, Simferopol and other cities of Russia and Belarus, Kazakhstan and Moldova, actively involved with the development of technologies and methods of remote sensing of the Earth for application in agriculture. There was a constructive exchange of views and research results among the conference participants regarding the application of methods and technological services for information support of agriculture, farming system management, diagnostics of agroecosystems, phytosanitary monitoring and security of agroecosystems, carbon sequestration by tree and shrub vegetation, crop yields evaluation. Advanced approaches, neural network models and hardware-software tools designed to improve technologies for satellite data collection, processing and interpretation were discussed. To identify the criteria and identification indicators of crop condition the role of specialized field experiments with conjugate ground-based and remote sensing studies was considered.

**Keywords:** All-Russia Conference, remote sensing of the Earth, information services, agroecosystem monitoring, precision agriculture, test polygons, optical identification indicators

Accepted: 18.02.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-287-294

### References

1. Blokhin Yu. I., Belov A. V., Blokhina S. Yu., Dvirnik A. V., Information and Measuring IoT System for Soil Moisture, Temperature and Local Meteorological Parameters Monitoring, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 183–187 (in Russian).
2. Zakharenko V. A., Development of remote methods for monitoring the phytosanitary state of agroecosystems of Russia when using pesticides (status and prospects), *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 68–70 (in Russian).
3. Zeyliger A. M., Ermolaeva O. S., Methods, scales and data of remote sensing in models of growth and development of agrophytocenoses, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 20–23 (in Russian).
4. Kleshchenko A. D., Savitskaya O. V., Evaluation of winter wheat yield based on the integration of ground and satellite data for some regions of the south of Russia, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 46–50 (in Russian).
5. Komarov A. A., Irmulatov B. R., Yakushev V. V., Kirsanov A. D., Zakharyan Y. G., Use of remote sensing data to control wheat productivity in the arid zone (on the example of Northern Kazakhstan), *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 51–55 (in Russian).
6. Lavrova O. Yu., Loupian E. A., Bartalev S. A., Overview of the 17<sup>th</sup> All-Russia Open Conference with International Participation “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”, *Sovremennyye*

- problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 6, pp. 305–310 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-305-310.
7. Lavrova O. Yu., Loupian E. A., Bartalev S. A., Kobets D. A., Results and highlights of the 18<sup>th</sup> All-Russia Open Conference with International Participation “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 7, pp. 292–296 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-292-296.
  8. Matveenko D. A., Voropaev V. V., Organization of field experiments on formation of reference information for aerospace images interpretation, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 94–98 (in Russian).
  9. Muzylev E. L., Startseva Z. P., Volkova E. V., Vasilenko E. V., Using satellite data of different spectral ranges to assess water availability of arid agricultural regions, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 39–45 (in Russian).
  10. Pavlyushin V. A., Lysov A. K., Phytosanitary safety of agroecosystems and remote sensing monitoring, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 8–14 (in Russian).
  11. Rodionova N. V., Kudryashova S. Ya., Chumbaev A. S., Assessment of texture and humidity content in the upper soil layer from radar and optical data of Sentinel 1, 2 satellites in conditions of the Novosibirsk region, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 178–182 (in Russian).
  12. Shpanev A. M., Smuk V. V., Methodology for studying the spatial heterogeneity of the phytosanitary state of agrobiocenoses by remote sensing, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 71–75 (in Russian).
  13. Yakushev V. P., Remote sensing: from tasks to scalability of results in modern agriculture, *Primenenie sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli v sel'skom khozyaistve* (Application of Earth Remote Sensing Means in Agriculture), Proc. 3<sup>rd</sup> All-Russia Science Conf. with Intern. Participation, Saint Petersburg, 16–17 Sept. 2021, Saint Petersburg: FGBNU AFI, 2021, pp. 3–7 (in Russian).
  14. Yakushev V. P., Blokhina S. Yu., Current problems and prospects for the use of remote sensing of the Earth in agriculture, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 5, pp. 257–262 (in Russian), DOI:10.21046/2070-7401-2018-15-5-257-262.
  15. Yakushev V. P., Dubenok N. N., Loupian E. A., Earth remote sensing technologies for agriculture: application experience and development prospects, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 11–23 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-11-23.
  16. Yakushev V. P., Petrushin A. F., Matveenko D. A., Blokhina S. Yu., Kanash E. V., Yakushev V. V. (2020a), New method of quantity estimation of intra field variability by optical characteristics of sowings for precision farming, *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2020, No. 2, pp. 4–10 (in Russian), DOI: 10.30850/vrsn/2020/2/4-10.
  17. Yakushev V. P., Bure V. M., Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P., Petrushin A. F., Blokhina S. Yu., Yakushev V. V. (2020b), Within-field variability estimation based on variogram analysis of satellite data for precision agriculture, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 2, pp. 114–122 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-114-122.
  18. Yakushev V. P., Bure V. M., Mitrofanova O. A., Mitrofanov E. P. (2020c), The use of geostatistical methods to analyze the transition feasibility to the differential application of agrochemicals technologies, *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Informatika. Protssy upravleniya*, 2020, Vol. 16, No. 1, pp. 31–40 (in Russian).