

ПЕРВЫЕ РОССИЙСКИЕ НАУЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2024 г. Л. А. Ведешин¹ *, Д. А. Шаповалов², Л. Г. Евстратова²

¹ФГБОУ Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²ФГБОУ Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

*E-mail: vedeshin40@mail.ru

Поступила в редакцию 29.07.2023 г.

Информация, получаемая со спутников ДЗЗ в течение многих лет, успешно используется в различных хозяйственных отраслях Российской Федерации. Однако бывают случаи, когда невозможно оперативно получить спутниковые данные наблюдений за состоянием природно-техногенной среды различных районов страны (наличие облачного покрова Земли, непрохождение орбит космических аппаратов в заданном районе в указанное время съемки, различное пространственное разрешение аппаратуры и др.). В этом случае у заказчиков космической съемки возникает необходимость получения подспутниковой информационной продукции в том виде, с которым имеют дело конкретные пользователи (например, состояние и объем биомассы лесных, сельскохозяйственных, экологических экосистем и др. в момент съемки). Поэтому для подспутниковых оперативных наблюдений потребовалось создание системы локального мониторинга на базе малой авиации: беспилотных летательных аппаратов с минимальным набором различной бортовой аппаратуры (черно-белых и цветных панорамных фотокамер, ИК-радиометров, радаров, лазеров и др.) в зависимости от поставленной задачи.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, беспилотные летательные аппараты, мониторинг почв и посевов, древесно-кустарниковая растительность, вегетационные индексы

DOI: 10.31857/S0205961424010081, **EDN:** GMJGCSY

ВВЕДЕНИЕ

Первые беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в основном представляли собой летательные аппараты самолетного типа. Электроника для них в те годы была достаточно дорогой и громоздкой, поэтому создание, обслуживание и использование БПЛА могли себе позволить только крупные промышленные и хозяйственные организации. В связи с появлением доступных и достаточно быстродействующих микропроцессоров и миниатюрных датчиков были разработаны первые проекты недорогих управляемых БПЛА. Вначале эти аппараты были аэродинамически неустойчивыми и требовали постоянной электронной стабилизации в полете. Совершенствование этих аппаратов, в свою очередь, стимулировало создание полетных контроллеров, и к началу 2010-х годов произошло массовое распространение БПЛА среди рядовых потребителей, что привело к их широкому применению в научной и гражданской сфере.

Развитие на рубеже 1990-х годов систем связи и навигации и в первую очередь приемников системы глобального позиционирования (ГЛОНАСС и GPS) вывели БПЛА на новый уровень популяр-

ности. Они стали успешно использоваться в различных физико-географических исследованиях в качестве платформы наблюдения, целеуказания и различных видов съемки, в том числе для получения текущей картографической информации с возможностью ее постоянного обновления.

Ряд важных преимуществ БПЛА перед пилотируемой авиацией привел к более активному развитию этой отрасли как в России, так и в мире, особенно за счет относительно небольшой стоимости, малых затрат на их эксплуатацию, возможности выполнять маневры с перегрузками, превышающими физические возможности человека. В последние годы научные и хозяйственные организации стали широко использовать различные по конструкции и весу типы БПЛА. Они применяются в географических, океанографических, экологических, биологических, сельскохозяйственных и др. научно-методических исследованиях, которые в настоящее время находятся в стадии развития, тестирования и внедрения в различные хозяйственные отрасли. В инженерно-производственной сфере БПЛА также закрепились как эффективный и широко применяемый инструмент (Григорьев, 2022; Шаповалов и др., 2021).

ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ БПЛА

В физико-географических исследованиях существует множество сфер применения данных, получаемых с помощью БПЛА: в первую очередь, это фотографирование и видеосъемка, в биогеографических исследованиях изучается почвенно-растительный покров и почвенная эрозия, проводятся гидрологических изыскания, лесопатологические и лесотаксационные наблюдения. Кроме того, надо отметить выполнение с помощью БПЛА кадастровых и картографо-геодезических работ. Многие из вышеперечисленных видов работ проводятся в Удмуртском государственном университете с помощью БПЛА (DJI Phantom 3). Варианты использования данных после обработки в фотограмметрических программах довольно многочисленны. Например, ортофотоплан может использоваться для межевания, инвентаризации и кадастровой оценки земельных участков, оценки эффективности использования земельных ресурсов, проектирования развития территорий мониторинга земель с целью охраны, экологического мониторинга границ и площадей земель, подверженных изменению, создания трехмерных моделей местности для ГИС (Григорьев, 2022).

Российской академией наук в 2015 г. была принята Программа фундаментальных исследований Президиума РАН по приоритетным направлениям науки (Программа). Среди направлений этой Программы важное место занимает разработка методов цифровой дистанционной инвентаризации и мониторинга земель в агропромышленном комплексе и лесном хозяйстве РФ. В реализации вышеназванной Программы принимают участие научные учреждения РАН, Росгидромета, Роскартографии и ряда других министерств и ведомств РФ.

Для проведения фундаментальных научных исследований по Программе наряду со спутниковыми наблюдениями впервые используются БПЛА. Современный уровень технического развития позволяет рассматривать БПЛА в качестве надежного средства оперативного мониторинга почв и посевов на отдельных полях небольших хозяйств. Возможности использования изображений, полученных с помощью БПЛА, в значительной степени зависят от типа съемочной аппаратуры. Она позволяет получать изображения, по своим свойствам сопоставимые со спутниковыми данными (спектральное и пространственное разрешение). Изображения, получаемые с БПЛА, используются учеными и специалистами при проведении научно-методических исследований, чтобы визуально удаленно оценить каждый объект наблюдений.

Еще одним важным направлением использования данных БПЛА в сельском хозяйстве являет-

ся мониторинг состояния посевов. Высокое пространственное разрешение данных и возможность съемки в заданное время позволяют оценивать состояние посевов (засоренность, разреженность, повреждение вредителями и болезнями, состояние после перезимовки, стадии фенологического развития и т.п.). После географической привязки изображений возможно проведение точной количественной оценки пострадавших посевов и географии их повреждений. Эта информация может быть полезна как для землепользователей, так и для страховых компаний (Златопольский, Яровой, 2020; Шаповалов и др., 2021).

Большое внимание в Программе уделяется процессам совместной обработки информации, получаемой со спутников и БПЛА. Ниже представлен обзор некоторых опубликованных научно-методических работ по Программе в области сельского и лесного хозяйства.

Учеными Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) разработана методика автоматизации определения густоты сельскохозяйственных растений, т.к. до настоящего времени подсчет густоты растений проводился вручную. Знание густоты всходов свеклы необходимо для оценки качества проведенных работ, прогнозирования объема уборки и для того, чтобы избежать излишних затрат при плохих всходах. Разработанная методика предусматривает автоматическое выявление на фотографии поля отдельных растений и подсчет их числа. Для этого участки поля сахарной свеклы вскоре после появления всходов фотографировались с БПЛА (модель Mavic 2 Pro компании DJI (объектив 28 мм (эквивалент формата 35 мм), разрешение 5472 × 3648 (20 MPx)) (<https://www.dji.com/ru/mavic-2/info#specs>) с высоты около 30 м для разработки алгоритма анализа изображения, включающего анализ цвета, пространственную фильтрацию и морфологический анализ. Этот алгоритм позволит делать оценку числа растений с хорошей точностью. Реальное разрешение снимка оценивалось, исходя из расстояния между рядками, которое выдерживается посевной техникой очень точно (Златопольский, Яровой, 2020).

Для повышения эффективности технологий, применяемых при возделывании сельскохозяйственных культур (нормы и сроки внесения удобрений, степень засоренности посевов и т.д.), важно учитывать внутривидовую изменчивость плодородия. Чем выше степень внутривидовой изменчивости, тем целесообразнее применять дифференцированный подход к выращиванию культур на определенном сельскохозяйственном поле.

Коллективом специалистов Агрофизического научно-исследовательского института (АФИ) (Санкт-Петербург) осуществлена программная ре-

ализация базового алгоритма обнаружения и выделения границ внутритропиковой изменчивости по аэрофотоснимкам с БПЛА, космическим снимкам и оптическим критериям посевов, а также его апробация в специализированных полевых исследованиях (Якушев и др., 2022). Исследование базового алгоритма проводилось на посевах яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья. Растения выращивали на поле Меньковского филиала АФИ (Ленинградская обл., Гатчинский район) в 2022 г. Во время основных фаз развития яровой пшеницы (кущение, выход в трубку, колошение, цветение) проводили фотосъемку посевов с БПЛА Matrice 600 Pro (DJI). Цифровые изображения были получены с высоты 80 м гиперспектральной камерой Pika-L (Resoson) в диапазоне от 400 до 1000 нм. Пространственное разрешение изображений – 3 см/пиксель, а спектральное разрешение – 2.14 нм. При обработке оптических характеристик посевов были рассчитаны вегетационные индексы: нормализованный разностный вегетационный индекс (англ. Normalized Difference Vegetation Index NDVI) и индексы отражения, характеризующие активность фотосинтетического аппарата, а именно содержание хлорофилла (англ. Chlorophyll Reflection Index – ChlRI), фотохимическую активность фотосинтетического аппарата (англ. Photochemical Reflectance Index – PRI), содержание воды (англ. Water Ratio Index – WRI), антоцианов (англ. Anthocyanins Reflection Index – ARI) и флавоноидов (англ. Flavonoids Reflectance Index – FRI). Вычисленные индексы применялись для дистанционной оценки физиологического состояния пшеницы и выявления участков посева, в которых сложился дефицит азотного питания при формировании сомкнутого растительного покрова. Их комплексное применение повышает надежность оценки потребности растений в удобрении за счет анализа неспецифических и специфических изменений оптических характеристик растений, возникающих при дефиците азота и воды. В частности, для яровой пшеницы сорта Дарья в фазу кущения определены зоны оптимального развития посева (вносить удобрения не нужно), зоны, требующие подкормки азотными удобрениями в дозе 50% от оптимальной дозы, и зоны, в которых посевы испытывают недостаток влаги и внесение удобрений нецелесообразно (Якушев и др., 2022).

Основной проблемой использования подобных данных для компьютерного анализа рельефа является то, что съемка с БПЛА позволяет получать цифровую модель местности (ЦММ), а не рельефа. Поэтому отражение на этой модели всех объектов наземного покрова (деревьев, зданий, насыпей и т.п.) затрудняет расчеты углов наклона и экспозиции склонов. В настоящий момент недостаточно проработаны методы очистки данных от влияния подобных объектов для перехода к цифровой модели

рельефа (ЦМР). Необходимо отметить, что подобная проблема не может возникнуть при получении данных о рельефе отдельных полей с посевами однолетних сельскохозяйственных культур или луговой растительности. Лишь по краям пахотного поля информация о рельефе может быть искажена из-за влияния близкой к полю естественной растительности или стоящих близко строений. Поэтому возможно построение ЦМР для отдельных полей. Теоретически, по сравнению с обычной геодезической съемкой, использование данных БПЛА должно сильно сократить затратность и трудоемкость работ.

Важным этапом при этом является точная географическая привязка получаемых изображений, а также их геометрическая и тоновая коррекция. Эти операции, как правило, приводят к большим искажениям исходных изображений, и от качества их осуществления во многом зависит точность дальнейшего прикладного анализа. Информативность изображений можно значительно увеличить, используя более специализированные камеры, устанавливаемые на БПЛА. В настоящее время существуют портативные камеры, которые позволяют получать изображения в каналах съемки, идентичных отдельным каналам спутника Landsat, или получать изображения в 12 различных каналах съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Перспективным направлением использования данных БПЛА является мониторинг отдельных свойств почв, в частности их деградированности, или оценка параметров плодородия почв отдельных полей. При этом в качестве индикатора состояния и свойств почв может быть использована индикационная роль растительности на полях по аналогии со спутниковыми методами. Но наиболее перспективной является разработка подходов детектирования свойств почв по состоянию их открытой поверхности, которые ограничены отсутствием миниатюрных камер, позволяющих получать изображения в узких спектральных диапазонах. Решение этой проблемы позволит совместить использование данных аэро- и космической съемки. В настоящее время на основе данных стандартных БПЛА можно решать отдельные задачи картографирования, мониторинга почв и оценки изменения их функций. При этом преимуществом подходов, основанных на БПЛА, по сравнению со спутниковыми технологиями для работы на уровне отдельных полей является возможность получения изображений в любой день, когда поверхность почв открыта для непосредственного наблюдения для картографирования эродированных почв на опытном поле (Ведешин, Шаповалов, 2022; Златопольский, Яровой, 2020; Шаповалов и др., 2021; Якушев и др., 2022).

Специалистами Государственного университета по землеустройству и Кубанского государственного

аграрного университета в 2018 г. на полях ВНИИ риса были проведены работы, связанные с применением дистанционных методов исследований качественных показателей посева риса. Для этих целей на специально выделенных (двух равнозначных) делянках был осуществлен посев некоторых сортов риса разными моделями сеялок. Для дистанционного наблюдения за вегетацией риса использовался БПЛА DJI Phantom 4 PRO. Съемка осуществлялась с высоты 80 м как в видимом диапазоне спектра с разрешением 20 МРх, так и в ближней ИК-зоне, одновременно с наземными методами контрольных измерений высоты и количества растений для проведения дальнейшего сравнительного анализа полученных результатов дистанционного мониторинга. Для определения высоты растительного покрова дистанционными методами использовалась цифровая модель местности, построенная с точностью 2 см в плане и по высоте по материалам аэрофотосъемок с БПЛА. Высокая точность достигнута за счет использования наземных опорных точек (около 30), которые были закреплены маркировочными знаками. Координаты опорных точек определялись с помощью приемника GNSS Ascnovo GX9 с точностью 10 мм в плане и 20 мм по высоте (Труфляк и др., 2019). Продольные и поперечные профили всходов на тестируемых участках заданных направлений были получены в программной среде Global Mapper 19.1. Также при анализе были использованы результаты обработки материалов съемок в программе «КОМПАС-3D». При обработке изображений Plant Health, полученных в программе DroneDeploy для двух участков, применялся алгоритм, выполненный в Mathcad 15, с помощью которого определялось среднее значение кода плотности тона изображения в массиве и количество пикселей, находящихся в выбранном диапазоне. В результате проведенных экспериментов, на основании наземных и дистанционных исследований определено, что после посева сеялкой КЛЕН-1.5П по сравнению с СН-16 количество всходов на 53% выше при одной норме высева семян, высота растений больше на 17% (перед уборкой – на 2%), а длина метелки перед уборкой – на 6%, урожайность выше на 12 ц/га (Труфляк и др., 2019; Шаповалов и др., 2022).

Технологии ДЗЗ также широко применяются при изучении лесов, в том числе для оценки их горизонтальной и вертикальной структуры. Разработаны методы определения сомкнутости и полноты древостоев на основе оптических спутниковых данных. Вертикальная структура полога, к которой можно отнести ярусность и высоту, анализируется обычно на основе данных активного ДЗЗ с помощью радаров и лидаров. Данные о высоте лесов крайне важны для определения их биомассы и бонитета, мониторинга хода роста насаждений. Защитные лесные насаждения (ЗЛН) практически

не охвачены лесоустройством и государственной инвентаризацией лесов и, как следствие, характеризуются недостатком объективных и современных данных об их характеристиках. По этой причине оценка их состояния представляется достаточно актуальной задачей. Сомкнутость полога ЗЛН может быть определена на основе оптических данных ДЗЗ, но вопрос определения высоты защитных лесных насаждений по спутниковым данным пока проработан недостаточно.

Защитные лесные насаждения играют важную роль в предотвращении деградации агроландшафтов. Из-за достижения предельного возраста значительная часть ЗЛН пребывает в неудовлетворительном состоянии. Существующие методы оценки сомкнутости ЗЛН, часто выступающей в качестве критерия их сохранности, очень трудоемки. Они основываются на экспертном дешифрировании данных аэрокосмических съемок сверхвысокого пространственного разрешения, использовании топографических карт, планов и полевом обследовании с помощью приборов спутникового геопозиционирования.

Специалистами ИКИ РАН был выполнен анализ возможностей оценки сомкнутости и определения высоты ЗЛН на основе бисезонного индекса леса BSFI (англ. Bi-Seasonal Forest Index) по данным Sentinel 2, по данным спутникового лидара ATLAS/ICESat-2 (англ. Advanced Topographic Laser Altimeter System/Ice, Cloud, and land Elevation Satellite) и материалам аэрофотосъемки (АФС) с БПЛА (Шинкаренко, Барталев, 2023; Шинкаренко и др., 2023). Для проведения исследований выполнялась АФС с БПЛА DJI Mavic Air с высоты 7 м в августе и сентябре 2022 г. в Волгоградской области (общая площадь составила 262.4 га). Аэрофотоснимки получены в видимом диапазоне с продольным и поперечным перекрытием 80%. В результате фотограмметрической обработки данных с БПЛА в программе Agisoft Photoscan получены с пространственным разрешением 2.5 см/пиксель ортофотопланы, также ЦММ и ЦМР – с разрешением 10 см/пиксель. На основе разницы ЦММ и ЦМР определялась высота древесно-кустарниковой растительности (ДКР). За полог ДКР принималась растительность высотой более 1 м (Шинкаренко, Барталев, 2023).

В проекте (Шинкаренко, Барталев, 2023) был выделен полог ДКР по данным с БПЛА, после чего значения сомкнутости полога сопоставлены с данными BSFI. Установлена регрессионная зависимость BSFI и сомкнутости, коэффициент детерминации которой составил 0,86, а среднеквадратичная ошибка равна 14.5%.

Таким образом, на основе аэросъемки с БПЛА в видимом диапазоне и бисезонного индекса леса BSFI, рассчитанного по спутниковым данным

Sentinel-2 высокого пространственного разрешения, предложен достаточно точный подход определения сомкнутости защитных лесных насаждений. Использование полученных результатов на практике позволит существенно сократить объем наземных обследований ЗЛН для определения их сохранности (Шинкаренко, Барталев, 2023).

В другом проекте (Шинкаренко и др., 2023) был выполнен анализ возможностей использования информационного продукта ATL08 по данным спутникового лидара ATLAS/ICESat-2 для определения высоты защитных лесных насаждений. Отметки высот, соответствующие растительности согласно лидарным данным за 2019–2022 гг., сопоставлялись с результатами обработки материалов аэро съемки с БПЛА (вышеописанных). Установлена значимая связь между средними и максимальными значениями высоты полога, определенными на основе материалов аэро съемки с БПЛА и с использованием данных лазерного сканирования в сегментах 20×14 м, при их покрытии древесно-кустарниковой растительностью более чем на 50%. Сопоставление проективного покрытия по лидарным данным, рассчитанного как отношение числа фотонов определенной ранее пороговой высоты к общему числу фотонов сегмента, и данных аэро съемки показало недостаточно высокую точность этого подхода. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования лидарных данных ATL08 для оценки высоты защитных лесных насаждений, но не для определения проективного покрытия (Шинкаренко и др., 2023).

Эксперимент по определению листовой поверхности LAI (англ. Leaf Area Index) разреженного смешанного березово-елового леса по данным MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на участке площадью $\sim 6,7$ км² был совместно выполнен в июне 2019 г. специалистами ИКИ РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова и Института географии РАН. Участок был расположен на южных склонах Хибинского горного массива в центральной части Кольского п-ова (Россия). Исследования проводились в соответствии с методологией масштабирования локальных точечных измерений по данным MODIS (230 м) и Sentinel-2 MSI (англ. Multispectral Instrument) высокого разрешения (10 м). Локальные измерения параметров древесного полога были выполнены с помощью съемки с БПЛА DJI Phantom 4 Advanced и DJI Phantom 4 PRO, оснащенных цифровыми RGB-камерами (20 MPx) с высот 100, 150, 200 м (продольное и поперечное перекрытие не менее 80%). Фотограмметрическая обработка полученных изображений (пространственное разрешение 2,5 см) проводилась в специализированном программном обеспечении Agisoft Metashape Professional v. 1.5.3. В результате были построены

ЦММ, включающая древесный полог, и ЦМР. Цифровая модель древесного полога с пространственным разрешением 10 см и высотным разрешением ~ 1 см была получена как разность двух этих моделей (Шабанов и др., 2021).

Этот подход оказался эффективным в части количественной оценки пространственной вариативности структуры растительного покрова на больших участках с использованием оценки сомкнутости крон. По данным БПЛА и изображения Sentinel NDVI на основе статистических и полуэмпирических методов была создана карта Sentinel LAI, которая рассматривалась как базовая при сравнении с продуктом ИКИ MODIS LAI (Шабанов и др., 2021).

Специалисты Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и Томского политехнического университета провели исследования в трех регионах Западной Сибири: Томской, Кемеровской и Новосибирской областях, в которых с 2019 г. наблюдается стремительное усыхание древостоев сосны сибирской кедровой сосны *Pinus sibirica* Du Tour, вызванное новым чужеродным вредителем — союзным короедом *Ips amitinus* Eichh. Успешность мероприятий по борьбе с короедом напрямую зависит от своевременности выявления заселенных им деревьев. Выявить их можно по характерным признакам вершинного усыхания, которое мало заметно при наземном обследовании. Использование БПЛА обеспечивает высокую оперативность наблюдений и получение снимков крон деревьев со сверхвысоким пространственным разрешением. По снимкам с БПЛА начата разработка моделей глубокого обучения U-Net и их исследования при решении задачи семантической сегментации деревьев *Pinus sibirica*, поврежденных союзным короедом. Для анализа состояния деревьев экспертами было выделено пять классов жизненного состояния *Pinus sibirica*: “условно здоровое”, “свежезаселенное”, “с усохшей вершиной”, “свежий сухостой” и “старый сухостой”. Деревья других видов и оставшиеся объекты на изображениях относились к классу “фон”. В качестве исходных данных использовались снимки с квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard (объектив 20 мм (эквивалент формата 35 мм), разрешение 4000×3000 (12 MPx)), полученные в июле 2019 г. Съемка выполнялась с высоты 350 м, что обеспечило пространственное разрешение около 10 см и высоты 150 м, что соответствует разрешению около 3 см. Для решения задачи сегментации изображений с БПЛА был предложен ряд моделей глубокого обучения: полносверточная сеть U-Net на основе известной модели U-Net и две ее модификации — multihead-U-Net (МН-U-Net) и multihead-residual-U-Net (МН-Res-U-Net). Результаты исследований показали, что все модели успешно классифицируют пиксели пяти классов из шести: модели U-Net

и МН-Res-U-Net хорошо сегментируют все классы, кроме класса “свежезаселенное”, а модель МН-U-Net – все классы, кроме класса “свежий сухостой”. Основную сложность для сегментации представили классы промежуточного состояния деревьев. Однако МН-U-Net справляется с сегментацией промежуточного класса “свежезаселенное”, U-Net – класса “с усохшей вершиной”, а МН-Res-U-Net – класса “свежий сухостой” (Марков и др., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее десятилетие аэросъемка с БПЛА широко применяется для получения крупномасштабных ортофотопланов, карт, ЦММ, ЦМР и реалистичных трехмерных моделей, при верификации результатов спутникового мониторинга и для разработки новых и совершенствования существующих подходов при решении задач в агропромышленном комплексе, лесном хозяйстве и государственном мониторинге земель. Это вызвано многими факторами, при этом ключевыми являются: увеличение показателя продолжительности полета БПЛА; оперативностью подготовки и проведения аэрофотосъемки; разработкой мульти-спектральных сенсорных систем со встроенными глобальными навигационными и инерциальными системами; сравнительно низкой себестоимостью производства работ. Разрабатываются программные обеспечения, которые позволяют быстро обрабатывать изображения, выполнять трехмерную визуализацию, с достоверной информацией о форме, размерах и положении снимаемых объектов, а также вычислять разные индексы растительности. Многовинтовые и с фиксированным крылом БПЛА с мультиспектральными датчиками становятся все более функциональными. Чтобы получить оперативно достоверную информацию о состоянии территории, достаточно использовать установленную производителем камеру на БПЛА и проводить съемку на небольшой высоте, причем можно с углом наклона оптической оси объектива, а не в нади́р. Это позволит быстро выявить участки, которые требуют более детального исследования и разработать план мероприятий для решения проблем. На рынке есть много доступных и простых в управлении БПЛА, которые можно применять для анализа состояния урожая и распыления химических средств.

Выполненный обзор публикаций показал, наблюдается рост количества проектов, выполненных в РФ, а полученные результаты исследований по изучению природной среды свидетельствуют о перспективности применения материалов, получаемые при обработке данных с БПЛА, для информационной поддержки системы принятия управленческих решений в различных хозяйственных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ведешин Л. А., Шаповалов Д. А. Первые научно-технические эксперименты по космическому земледелию (к 60-летию начала работ по космической съемке Земли с пилотируемых космических кораблей) // Исслед. Земли из космоса. 2022. № 5. С. 99–102. DOI: 10.31857/S0205961422050086.
- Григорьев И. И. Использование данных беспилотных летательных аппаратов в физико-географических исследованиях // Физическая география в современном мире. 14–15 апреля 2022. Ульяновск, 2022. С. 231–232. DOI: 10.33065/978-5-907216-88-4-2022-231-232.
- Шаповалов Д. А., Ключин П. В., Савинова С. В., Лепехин П. П., Ведешин Л. А. и др. Теория и практика дистанционного зондирования Земли для агропромышленного комплекса России. М., 2021. 443 с.
- Златопольский А. А., Яровой С. А. Автоматизированный расчет густоты растений по фотографиям с беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 155–163. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-155-163.
- Якушев В. П., Петрушин А. Ф., Якушев В. В., Блохина С. Ю., Блохин Ю. И., Матвеев Д. А., Митрофанов Е. П. Автоматизация процесса обнаружения и выделения границ внутриполевой изменчивости по аэрокосмическим снимкам и оптическим критериям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 19 (6). С. 151–162. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-161-162.
- Шаповалов Д. А., Дмитриева Е. Е., Калинова Е. В., Тихонов А. Д. Интеллектуальная система проектирования рисовых оросительных систем // Цифровизация землепользования и землеустройства: тенденции и перспективы. 14 октября 2022. М., 2022. С. 10–15.
- Труфляк Е. В., Скубиев С. И., Цыбулевский В. В., Малашихин Н. В. Дистанционный мониторинг посевов риса и алгоритм выявления неоднородностей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 110–124. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124.
- Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Возможности оценки сомкнутости защитных лесных насаждений на основе бисезонного индекса леса и материалов съемки БПЛА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 189–202. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-189-202.
- Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Богодухов М. А., Жарко В. О. Оценка возможностей определения высоты и проективного покрытия защитных лесных насаждений по данным ICESat-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 174–183. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-174-183.
- Шабанов Н. В., Михайлов Н. В., Тихонов Д. Н., Тутубалина О. В., Медведев А. А., Тельнова Н. О., Барталев С. А. Валидация оценки индекса листовой поверхности по данным MODIS для редкостойных лесов Кольского полуострова с использованием материалов съемок беспилотных летательных аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 156–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-156-170.
- Марков Н. Г., Маслов К. А., Керчев К. А., Токарева О. С. Модели U-Net для семантической сегментации поврежденных деревьев сосны сибирской кедровой на снимках с БПЛА // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 65–77. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-65-77.

First Russian Scientific Experiments on the Natural Environment Study Using Unmanned Aerial Vehicles

L. A. Vedeshin¹, D. A. Shapovalov², L. G. Evstratova²

¹Space Research Institute RAS, Moscow, Russia

²State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

The information received from remote sensing satellites for many years has been successfully used in various economic sectors of the Russian Federation. However, there are cases when it is impossible to promptly obtain satellite observations data of the natural and man-made environment state of country various regions (the cloud cover presence of the Earth, the non-passage of spacecraft orbits in a given area at shooting specified time, different spatial resolution of the equipment, etc.). In this case, the space survey customers have a need to obtain subsatellite information products in the form that specific users are dealing with (the state and volume of forest biomass, agricultural, ecological ecosystems, etc. at the shooting time). Therefore, for subsatellite operational observations, it was necessary to create a local monitoring system based on small aircraft: unmanned aerial vehicles with various onboard equipment minimum set (black-and-white and color panoramic cameras, IR radiometers, radars, lasers, etc.) depending on the task.

Keywords: remote sensing satellites, unmanned aerial vehicles, soils and crops monitoring, woody and shrubby vegetation, vegetation indices

REFERENCES

- Vedeshin L.A., Shapovalov D.A.* Pervye nauchno-tehnicheskie ehksperimenty po kosmicheskomu zemlevedeniyu (K 60-letiyu nachala rabot po kosmicheskoi s'emke Zemli s pilotiruemymi kosmicheskimi korablami) [First scientific and technical experiments in space geography (On the occasion of the 60th anniversary of the start of work on space photography of the Earth from manned spacecraft)] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa*. 2022. № 5. P. 99–102. (In Russian). DOI: 10.31857/S0205961422050086.
- Grigor'ev I. I.* Ispol'zovanie dannykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov v fiziko-geograficheskikh issledovaniyakh [The use of data obtained by unmanned aerial vehicles in physical and geographical research] // *Fizicheskaya geografiya v sovremennom mire*. 14–15 April 2022. Ul'yanovsk, 2022. P. 231–232. DOI: 10.33065/978-5-907216-88-4-2022-231-232. (In Russian).
- Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Savinova S.V., Lepekhin P.P., Vedeshin L.A.* i dr. Teoriya i praktika distantsionnogo zondirovaniya Zemli dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Theory and practice of the Earth remote sensing for the Russia agro-industrial complex]. M., 2021. 443 p. (In Russian).
- Zlatopol'skii A.A., Yarovoi S.A.* Avtomatizirovannyi raschet gusoty rastenii po fotografiyam s bespilotnogo letatel'nogo apparata [Automated calculation of plant density based on unmanned aerial vehicle photos] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2020. V. 17. № 7. P. 155–163. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-7-155-163. (In Russian).
- Yakushev V.P., Petrushin A.F., Yakushev V.V., Blokhina S.YU., Blokhin YU.I., Matveenko D.A., Mitrofanov E.P.* Avtomatizatsiya protsessa obnaruzheniya i vydeleniya granits vnutripolevoi izmenchivosti po aehrokosmicheskim snimkam i opticheskim kriteriyam [Automatic delineation algorithm for within-field variability zones based on aerospace images and optical criteria] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022. № 19 (6). P. 151–162. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-161-162. (In Russian).
- Shapovalov D.A., Dmitrieva E.E., Kalinova E.V., Tikhonov A.D.* Intel'kual'naya sistema proektirovaniya risovykh orositel'nykh system [Intelligent design system for rice irrigation systems] // *Tsifrovizatsiya zemlepol'zovaniya i zemleustroistva: tendentsii i perspektivy*. 14 October 2022. Moskva, 2022. P. 10–15. (In Russian).
- Truflyak E.V., Skubiev S.I., Tsybulevskii V.V., Malashikhin N.V.* Distantsionnyi monitoring posevov risa i algoritmy vyavleniya neodnorodnostei [Rice crops remote monitoring and heterogeneities detection algorithm] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019. V. 16. № 3. P. 110–124. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-110-124. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A.* Vozmozhnosti otsenki somknutosti zashchitnykh lesnykh nasazhdenii na osnove bisezonno indeksa lesa i materialov s'emki BPLA [Possibilities of assessing forest belts canopy closure using Sentinel-2 based Bi-Seasonal Forest Index and UAV data] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2023. V. 20. № 1. P. 189–202. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-189-202. (In Russian).
- Shinkarenko S.S., Bartalev S.A., Bogodukhov M.A., Zharko V.O.* Otsenka vozmozhnostei opredeleniya vysoty i proektivnogo pokrytiya zashchitnykh lesnykh nasazhdenii po dannym ICESat-2 [Assessment of possibilities for protective forest belts canopy closure and height estimation based on ICESat-2 data] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2023. V. 20. № 2. P. 174–183. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-174-183. (In Russian).
- Shabanov N.V., Mikhailov N.V., Tikhonov D.N., Tutubalina O.V., Medvedev A.A., Tel'nova N.O., Bartalev S.A.* Validatsiya otsenki indeksa listovoi poverkhnosti po dannym MODIS dlya redkostoynykh lesov Kol'skogo poluostrova s ispol'zovaniem materialov s'emok bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Validation of the MODIS LAI product over sparse boreal forest of the Kola Peninsula using UAV data] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2021. V. 18. № 2. P. 156–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-156-170. (In Russian).
- Markov N.G., Maslov K.A., Kerchev K.A., Tokareva O.S.* Modeli U-Net dlya semanticheskoi segmentatsii povrezhdennykh derev'ev sosny sibirskoi kedrovoy na snimkakh s BPLA [U-Net models for semantic segmentation of damaged Pinus sibirica trees in UAV imagery] // *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022. V. 19. № 1. P. 65–77. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-65-77. (In Russian).