
**КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ,
СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ИЗК**

**ПЕРВЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ
ПО КОСМИЧЕСКОМУ ЗЕМЛЕВЕДЕНИЮ (К 60-ЛЕТИЮ НАЧАЛА РАБОТ
ПО КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ЗЕМЛИ С ПИЛОТИРУЕМЫХ
КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЕЙ)**

© 2022 г. Л. А. Ведешин^а, *, Д. А. Шаповалов^б

^аФГБУН Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

^бФГБОУ Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

*E-mail: vedeshin40@mail.ru

Поступила в редакцию 25.02.2022 г.

DOI: 10.31857/S0205961422050086

Статья посвящается крупному российскому ученому в области космических методов земледования академику РАН К.Я. Кондратьеву

Первые космические съемки Земли были выполнены в Советском Союзе в августе 1962 г. космонавтом Германом Степановичем Титовым с пилотируемого космического корабля (ПКК) “Восток-2”. Эти съемки были включены в научную программу всех ПКК и орбитальных космических станций (ОКС). Полученные материалы оперативно доставлялись на Землю и передавались ученым и специалистам для дальнейшего изучения и практического использования. В 80–90 гг. для решения научно-методических и практических задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе для изучения состояния растительного покрова, одновременно с визуальными инструментальными методами (ВИМ) ручной съемки на ПКК “Салют-6”, “Салют-7” и “Мир” использовались стационарные фотокамеры МКФ-6М и КАТЭ-140. В настоящее время (ВИМ) наблюдения земной поверхности выполняются космонавтами стран-участниц международной космической станции (МКС). За прошедший период в СССР и Российской Федерации были разработаны новые типы автоматических космических аппаратов (КА) для ДЗЗ, которые успешно используются для получения космической информации для решения научных и отраслевых задач, в том числе в агропромышленном комплексе (АПК) страны. 14 мая 2021 г. вышло Постановление Правительства РФ “О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ в 2022–2031 гг.”. В ходе выполнения работ по Госпрограмме планируется широкое использование космических снимков ДЗЗ с отечественных и зарубежных КА, а также с беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Космические снимки, полученные в 1946–1962 гг. с баллистических ракет (БР) и геофизических ракет (ГФР) сыграли важную роль в истории ДЗЗ. До запуска первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) они предоставляли ученым возможность получения первых мелкомасштабных изображений Земли с космических высот, уточнения географических и тематических карт, а также впервые проследить сезонные изменения изображений природных объектов. В результате анализа информации, полученной в ходе космических съемок с БР и ГФР были разработаны рекомендации по выбору оптимальных высот орбит ИСЗ и периодов наблюдений различных земных ландшафтов, а также фенологического и динамического мониторинга земной поверхности. Учеными был накоплен опыт в обработке и дешифрировании первых космических изображений с учетом облачного покрова. Фотоснимки Земли с БР и ГФР не давали глобального покрытия земной поверхности, тем не менее, они стали важным этапом в разработке новых типов фотоаппаратов и методов съемки, выбора оптимальных параметров съемочных систем, их спектрального и пространственного разрешения в зависимости от высоты орбиты ИСЗ, ПКК и ОКС (Виноградов, 1975).

Первые съемки с ПКК, ОКС и ИСЗ осуществлялись с высот от 250 до 600 км и имели большую обзорность. Другим важным отличительным свойством космической съемки с ИСЗ была большая скорость получения и передачи информации, возможность многократного повторения съемки одних и тех же территорий, что позволяло наблюдать природные процессы в их динамике, лучше анализировать взаимосвязи между компонентами природной среды, что увеличивало возможности создания новых общегеографических и тематических карт. В результате появилась возможность использования космической информа-

ции в географии, землеведении, природопользовании и других науках о Земле. Особое место в практическом использовании спутниковых данных занимала сельскохозяйственная отрасль, для которой было необходимо наличие регулярного обзора с/х угодий страны, а также оперативное получение данных о состоянии земель и посевов для составления долгосрочных прогнозов урожая. После получения первых космических снимков ученые и специалисты уделяли первостепенное внимание инвентаризации и оперативному картографированию природных объектов, фенологическому и динамическому мониторингу, наблюдению за сезонными и многолетними изменениями природной среды, слежению за составом и состоянием антропогенного мониторинга, контроля за размерами, формой, глубиной и последствиями воздействия хозяйственной деятельности человека на природу. Для того, чтобы получить полное представление о дистанционной индикации экосистем необходимо было совместно использовать наземные, авиационные и космические методы изучения растительности и геосистем. Визуальная интерпретация и дешифрирование первых космических фотоснимков с ПКК и ИСЗ “Метеор” использовались для составления географических и тематических карт М 1 : 0000000 М 1 : 3000000, а также для мелкомасштабных карт растительности. Телевизионная съемка выполнялась с ИСЗ “Метеор” с разрешением 1–3 км в спектральном диапазоне 0.45–0.75 мкм и в ИК диапазоне 2.6–14 мкм с разрешением 10–15 км, в которых регистрация электромагнитного поля Земли производилась одновременно в разных спектральных каналах в видимой, инфракрасной и микроволновой областях спектра. Ручные методы обработки и интерпретации такой информации не обеспечивали оперативное получение комплексных и достоверных данных о природной среде. Необходимо было создание новых типов КА и многозональной съемочной аппаратуры. Космические снимки Земли, полученные в 60-е годы показали высокую информативность данных ДЗЗ, возможность и целесообразность их применения в научных и народнохозяйственных целях (Виноградов, 1971)

В 70-е годы советским правительством перед промышленными и научными организациями были поставлены задачи по разработке КА для ДЗЗ, фотографических и радиолокационных систем для съемки земной поверхности, технических средств и методов обработки и использования космической информации. Первым крупным фундаментальным достижением в области ДЗЗ с ПКК и ОКС явилось совместное создание специалистами ИКИ АН СССР и предприятия “Карл Цейс Йена” ГДР в рамках программы “Интеркосмос” стационарной многозональной космической фотокамеры с объективами (МКФ-6), в которой регистрация электромагнитного поля Земли производилась одновременно

разных спектральных каналах в видимой, инфракрасной и микроволновой областях спектра. Для обработки космической информации была также создана специальная установка для синтеза 4 снимков в разных зонах спектра (КТС-4). Успешные испытания аппаратуры МКФ-6 были выполнены космонавтами В.В. Аксеновым и В.Ф. Быковским на ПКК “Союз-22” (16–18.09.1976). В результате полета были получены многозональные снимки в 6 спектральных диапазонах (0.46–0.50, 0.52–0.56, 0.58–0.62, 0.64–0.68, 0.68–0.78, 0.78–0.88) с разрешением в видимой зоне спектра 20–40 м и в ближней инфракрасной области 80–100 м. Например, на космических снимках Ферганской долины и Заилийского Алатау хорошо различались вегетирующая мезоморфная растительность оазисов и посевов сельскохозяйственных культур с покрытием более 60–70 процентов. Полученная в ходе эксперимента информация о почвах и растительности, как и их изменчивости в различных ландшафтах использовалась для оптимизации процесса принятия решений в различных сферах деятельности, таких как сельскохозяйственное производство, мелиорация, градостроительство, исследования проблем изменения климата и деградации окружающей среды (Коваль, 1982). В настоящее время визуально-инструментальные наблюдения космонавты различных стран продолжают на международной космической станции (МКС) с помощью ручных фотокамер, спектрометров и др. научных приборов (программа “Ураган”). Полученные материалы оперативно доставляются на Землю и передаются ученым и специалистам для дальнейшего изучения и практического использования (Десинов, 2003).

Следующим крупным достижением в ДЗЗ стало создание солнечно-синхронных ИСЗ “Метеор-Природа” (1974–1984) и многоспектральной сканирующей системы, работающей в 8 спектральных каналах в видимой, инфракрасной и микроволновой областях спектра (0.4–2.4 мкм), с полосой захвата 85 км при высоте полета 650 км и мгновенном поле зрения 80 м, разрешением 70–100 м и периодичностью съемки 15 сут. Данные многоспектральной космической съемки с ИСЗ “Метеор-Природа” оказались наиболее перспективными для изучения природных ресурсов Земли, в том числе для решения задач мониторинга сельскохозяйственных угодий и посевов. Обработка и интерпретация такой информации обеспечивала получение комплексных и достоверных данных о природной среде. Успешное освоение космической информации для ДЗЗ было связано с разработкой новых методов дешифрирования, базирующихся не только на пассивном визуальном анализе космических снимков, но в большей мере на физических и математических методах распознавания спектральных образов. Для этого была разработана теория распознавания образов и переход к математической обработке все увеличивающегося объема кос-

мической информации. Принимаемая спутниковая информация дешифрировалась и проходила целевую обработку в специально созданных в СССР центрах обработки космической информации Минсельхоза, Мингеологии, Минлесхоза, Гидрометеорологии, Госкомитета по охране природных ресурсов, Главного управления геодезии и картографии и АН СССР. В конце 70-х—начале 80-х годов была создана серия природно-ресурсных спутников: “Метеор”, “Метеор–Природа”, “Ресурс-0”, “Ресурс-Ф”, “Океан” и др. для оперативного обеспечения космической информацией отраслевых и научных организаций сельского и лесного хозяйства, картографии, гидрометеорологии, геологии, рыболовства, охраны окружающей среды, градостроительства и др. (5).

Большой вклад в разработку КА ДЗЗ, внесли специалисты и ученые промышленности профессор А.Г. Иосифьян, д. т. н. Ю.В. Трифонов, д. т. н. В.И. Адасько (ВНИИЭМ), чл.-корр. РАН В.М. Ковтуненко (“ОКБ Южное”), академик Д.И. Козлов (ЦСКБ “Прогресс”) и др. Созданием и совершенствованием методов обработки, интерпретации и практического использования космической информации ДЗЗ занимались крупные ученые: академики Г.И. Марчук (Вычислительный центр АН СССР), К.Я. Кондратьев (ЛГУ), А.С. Исаев, д. б. н. В.И. Сухих (Институт леса и древесины АН СССР), академики Ю.А. Израэль (Институт прикладной геофизики Гидрометеорологии), И.П. Герасимов и профессор С.В. Зонн (Институт географии АН СССР), чл.-корр. АН СССР Н.Г. Келль и профессор Б.В. Виноградов (Лаборатория аэрометодов АН СССР), профессор А.А. Григорьев (Лаборатория аэрокосмического земледения ЛГУ) и другие советские ученые .

В связи с большой заинтересованностью ученых и отраслевых организаций в использовании космической информации ДЗЗ в 1977 г. вышло постановление Правительства СССР о создании космической системы “Ресурс” с более совершенными информационными приборами. На базе спутников “Метеор–Природа” во ВНИИЭМ были разработаны ИСЗ “Ресурс-01” № 1–4 (1980–2004) и “Ресурс-ОЭ” (1980–1984) с цифровой сканирующей аппаратурой “Фрагмент”, созданной совместно специалистами ИКИ АН СССР, ВНИИЭМ и предприятием “Карл-Цейс Йена” по программе “Интеркосмос” для изучения различных природных образований в 8 спектральных диапазонах спектра. Космической системой “Фрагмент” было получено большое количество многозональных изображений различных районов СССР в разные сезоны, которые использовались отраслевыми специалистами для создания программно-алгоритмического обеспечения цифровой обработки изображений, обработки методики ДЗЗ и решения многих научных и хозяйственных задач. Информация со спутников “Ресурс-01” поступала на малые приемные станции в Ханты-Ман-

сийске, Тюмени, Якутске, Иркутске, Южно-Сахалинске и др., где не было крупных приемных центров. Съемка территории этих районов осуществлялась с периодичностью 3–4 раза в сутки. Был организован также прием космической информации с ИСЗ “Ресурс-01” в Европейском центре приема и обработки данных в Кируне (Швеция), который осуществлялся 1–2 раза в сутки с охватом почти всей территории Европы (Ведешин, 2021).

Для совершенствование методов обработки и интерпретации больших потоков спутниковых данных о естественной и сельскохозяйственной растительности на базе Курской биосферной станции Института географии АН СССР и научного полигона в штате Канзас (США) в 1985–1991 гг. в рамках секции “Наук о Земле” Межправительственного соглашения СССР и США по космосу были организованы совместные аэрокосмические и наземные эксперименты по изучению сельскохозяйственной растительности с участием ученых СССР, США и ряда др. стран (проекты “КУРЭК-85 и 91”, “КАНЗАС-87 и 89” . Аналогичные аэрокосмические и наземные исследования проводились в рамках программы “Интеркосмос” учеными социалистических на тестовых полигонах СССР, Болгарии, Венгрии, Польши, ГДР, Монголии, Кубы, Вьетнама, Чехословакии и др. с использованием данных ДЗЗ ОКС “Салют-6”, “Салют-7”, “Мир”, ИСЗ “Метеор” и “Метеор–Природа”. В этих исследованиях принимали активное участие ученые Почвенного института им. В.В. Докучаева АН СССР, ВАСХНИЛ, МГУ, Института географии АН СССР, ВНИЦ “АИУС АГРОРЕСУРСЫ”, Института вычислительной математики АН СССР, Института космических исследований АН СССР, Научно-исследовательского центра “Каспий” АН Азербайджана и др. (Kondratev, 1993).

В 2000-е годы для ДЗЗ в Российской Федерации были созданы спутники нового поколения “Метеор-3М” № 1 (2001–2006), “Монитор-Э” (2005), “Ресурс-ДК” (2006–2016), “Ресурс-П” (2019), “Канопус-В” № 1 (2012) и др. Для практического использования космической информации в различных хозяйственных отраслях были разработаны новые методы обработки и дешифрирования, базирующиеся не только на пассивном визуальном анализе космических снимков, но в большей мере на физических и математических методах распознавания спектральных образов. Эти исследования позволили осуществить переход к машинной обработке все увеличивающегося объема космической информации. Среди современных отечественных систем ДЗЗ необходимо отметить комплекс приборов КМСС (комплекс многозональной спутниковой съемки), установленный на спутниках “Метеор-М-2” (2014) и “Метеор-М-2.2” (2019), который обеспечивает повторяемость наблюдений в течение 3–5 дней. Аппаратура КМСС, разработанная в ИКИ РАН позволяет получать данные в шести спектральных каналах диапазона $X = 0.37–$

0.90 мкм с разрешением 60/120 м (в зависимости от режима работы). В настоящее время в оперативном режиме работают два спутника серии – “Метеор-М” № 2 и “Метеор-М” № 2-2, обеспечивая повторяемость наблюдений в 3–5 дней по отдельности. Особый интерес для осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, наряду с данными КМСС, представляет информация со спутников со съемочной аппаратурой высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Она обеспечивает получение пространственной информации с высокой детальностью отображения местности. К ним относятся российские спутники “Ресурс-П” и “Канопус-В” (с разрешением 5–10 м). На основе, получаемой с них информации были проведены работы по архивированию и каталогизации данных ДЗЗ. Для комплексной оценки сельскохозяйственных угодий также используются данные среднего и высокого пространственного разрешения – зарубежные КА “Landsat-8” и “Sentinel-2”. Использование материалов космической съемки с отечественных и зарубежных спутников позволяет масштабировать и оперативно решать ряд сельскохозяйственных задач, таких как инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения, контроль севооборота, а также определять негативные процессы, приводящие к непригодности земель (зарастание угодий древесно-кустарниковой растительностью и др.). Кроме того, сочетание данных ДЗЗ оптического диапазона с другой социально-экономической информацией обеспечивают важнейшее звено в общем процессе планирования и принятия эффективных решений в области управления земельными ресурсами (Ведешин, 2011; Шаповалов, 2021).

Основной задачей системы космического мониторинга является обеспечение возможности работы со спутниковыми данными различных исследовательских групп, выполняющих различные проекты по мониторингу сельскохозяйственных земель и культур в разных странах и регионах. Специалистами ИКИ РАН разработана программа для реализации системы глобального мониторинга сельского хозяйства GEO Global Agricultural Monitoring (GEOGLAM), в рамках которой создан ряд инструментов, позволяющих проводить совместный анализ данных ДЗЗ и контактных наземных измерений на тестовых участках в различных регионах мира для реализации конкретных проектов. Система ориентирована на разработку инновационных методов, основанных на интеграции наземных наблюдений и спутниковых данных, позволяющих прогнозировать влияние производства сельскохозяйственной продукции на экосистемы и природные ресурсы. При проведении таких разработок наземные наблюдения являются основным источником информации для оценки, полученных результатов (Лупян, 2019).

Наряду с космическими методами ДЗЗ в АПК в настоящее время находят применение беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В отличие от доро-

гостоящей авиации они повышают эффективность мониторинга состояния земельных участков и посевов в любой период времени, исключая необходимость обычного обхода полей агрономами и специалистами с измерительными приборами. Благодаря БПЛА в районном масштабе можно гораздо быстрее собирать и обрабатывать большое количество информации для оперативного принятия решений, что способствует улучшению урожайности, снижению расходов. Источниками наземных наблюдений в системе могут выступать различные организации и проекты, такие как исследовательские институты, группы и коммерческие компании, заинтересованные в создании новых технологий для сельского хозяйства. Главная задача цифровой трансформации сельского хозяйства – обеспечить переход к “умному сельскому хозяйству” и активному использованию и развитию цифровых технологий ДЗЗ для преобразования главной отрасли народного хозяйства страны (Шаповалов, 2021).

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема “Мониторинг”, госрегистрация № 122042500031-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов Б.В., Ведешин Л.А.* Применение высотных ракет для локальных исследований природной среды // В сборнике: “Исследование природной среды космическими средствами. География, методы космической фотосъемки”. ВИНТИ. 1975. С. 114–117.
- Виноградов Б.А., Кондратьев К.Я.* Космические методы земледелия. Гидрометеорологическое издательство Л. 1971. С. 190.
- Коваль А.Д., Ведешин Л.А.* Подготовка и проведение комплекса экспериментальных исследований природной среды с участием космонавтов социалистических стран // ИЗК. 1982. № 2. С. 11–19.
- Десинов Л.В., Ведешин Л.А.* Программа “Ураган” // ArcReview № 4. М. 2003. С. 13–14.
- Ведешин Л.А.* Первый советский метеорологический спутник (К 60-летию начала разработки спутников серии “Метеор”) // ИЗК. 2021. № 2. С. 94–95.
- Kondratev K.Y., Kozoderov V.V., Vedeshin L.A.* Remote-Sensing of the Environment (Results OF Soviet-Aerican Collaboration 1988-1991) // Soviet J. Remote Sensing. 1993. V. 10. Iss. 3. P. 560–571.
- Ведешин Л.А., Шаповалов Д.А., Белорусцева Е.В.* Космические информационные технологии для решения сельскохозяйственных задач // Экологические системы и приборы. 2011. № 9. С. 3–10.
- 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. Монография / М. 2021, с. 360.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др.* Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных. (ЦКП “ИКИ Мониторинг”). Современные проблемы ДЗЗ из космоса. М. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–171.