

УДК 629.78

ИНТЕГРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

О.Г. Артемьев, М.А. Плешакова

Герой Российской Федерации, летчик-космонавт Российской Федерации
инструктор-космонавт-испытатель 1-го класса О.Г. Артемьев
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)
М.А. Плешакова (МГИМО МИД РФ)

Проведенный в статье анализ международного и российского опыта интеграции космической отрасли и аграрного сектора показывает растущую роль космических технологий как стратегического фактора модернизации агропромышленного комплекса (АПК).

Ключевые слова: космические технологии, агропромышленный комплекс, дистанционное зондирование Земли, продовольственная безопасность, стратегическое развитие

Integration of Space Technologies into the Strategic Development of the Agro-Industrial Complex. O.G. Artemyev, M.A. Pleshakova

An analysis of international and Russian experience in the integration of the space industry in the agricultural sector made in the paper demonstrates the growing role of space technologies as a strategic factor in modernizing the agro-industrial complex.

Keywords: space technologies, agro-industrial complex, Earth remote sensing, food security, strategic development

В XXI в. космические и прикладные околокосмические технологии все более устойчиво выступают в качестве стратегических факторов, определяющих траекторию модернизации и структурной трансформации АПК. Интеграция таких инновационных инструментов, как дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), спутниковые телекоммуникационные системы, достижения современной биотехнологии, передовые технологии жизнеобеспечения, а также новые агрономические методологии, способствует системному повышению производственной эффективности, устойчивости агросистем и уровня предсказуемости сельскохозяйственных процессов, что, в свою очередь, напрямую усиливает продовольственную безопасность на глобальном и национальном уровнях.

Международный опыт интеграции космических технологий

ДЗЗ [1] включает пассивные (регистрация отраженного солнечного излучения) и активные (радар, лидар) методы [2]. Для агромониторинга наиболее

ценны данные в видимом (VIS), ближнем (NIR) и тепловом (TIR) инфракрасном диапазонах [3]. Мульти- и гиперспектральные сенсоры позволяют рассчитывать вегетационные индексы (NDVI, NDRE, MSAVI, NDMI) [4], отражающие биофизическое состояние растительности (рис. 1).

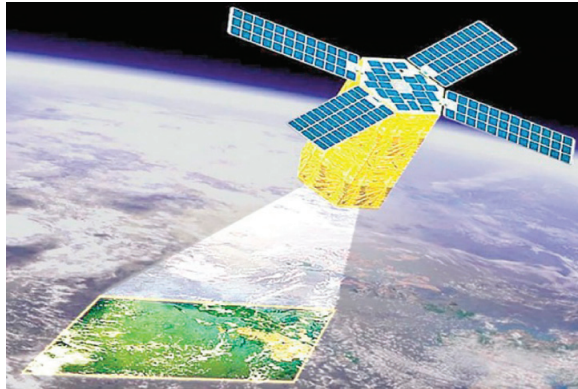


Рис. 1. ДЗЗ

Ключевые направления применения технологий

Мониторинг посевов. NDVI [4] и другие индексы используются для оценки состояния культур, выявления стрессов (засуха, болезни, дефицит питания) и оптимизации агротехнологий [5].

Управление орошением. Данные ДЗЗ позволяют создавать карты дифференцированного полива, повышая эффективность водопотребления на 20–30 % [6].

Прогнозирование урожайности. Интеграция спутниковых данных с метеоинформацией и агромоделями обеспечивает высокоточные прогнозы для планирования уборочной кампании и логистики [7].

Дифференцированное внесение удобрений и СЗР. Карты переменных норм (VRA) на основе ДЗЗ снижают объем агрохимикатов на 15–30 %, минимизируя экологический след [8].

Интеграция платформ мониторинга. Современные системы строятся на синергии спутников (широкий охват), БПЛА (высокое разрешение) и наземных сенсоров (верификация данных).

Основные космические миссии для агромониторинга

Спутники Sentinel-2 (программа Copernicus). Представляют собой многогиперспектральную съемку с периодичностью в 5 дней, 13 каналов, разрешением до 10 м [8].

Спутник мониторинга окружающей среды NASA SMAP (англ.: Soil Moisture Active Passive). Основная задача миссии заключается в мониторинге влажности почвы. Несмотря на выход из строя активного радиолокационного компонента в 2015 г., пассивный микроволновый радиометр продолжает

функционировать и обеспечивает регулярные (с интервалом 2–3 дня) данные о содержании влаги в почве [9].

Радиолокационный спутник для всепогодного мониторинга биомассы и влажности почвы NISAR (англ.: *NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar*). Был запущен в марте 2025 г., получаемые данные используются для мониторинга динамики растительной биомассы, оценки структуры растительного покрова и измерения влажности почвы, что расширяет возможности дистанционного зондирования в условиях сложной метеорологической обстановки [8].

Программы анализа данных для сельского хозяйства

NASA Harvest. Инициатива NASA, которая использует данные ДЗЗ для повышения продовольственной безопасности. Проект предоставляет аналитические инструменты для правительств и организаций, помогая оперативно реагировать на кризисы: экстремальные погодные явления, конфликты и сбои в логистике [10].

GEOGLAM. Родственная глобальная программа, которая занимается мониторингом состояния сельского хозяйства [11]. Ежемесячно на сайте публикуются бюллетени с оценками посевов и прогнозами урожайности, повышая прозрачность рынков и выявляя угрозы дефицита продовольствия. Методы мониторинга включают в себя анализ NDVI, данных об осадках, температуре и влажности почвы для оценки состояния растений и выявления засух.

Экономические и экологические преимущества

Интеграция технологий ДЗЗ и спутниковой аналитики в агропроизводство способствует повышению урожайности на 25–30 % и снижению операционных издержек до 30 %, что подтверждается практическим опытом применения платформы «СкайСкаут» [11]. Достижимая экономия обусловлена сокращением количества полевых объездов, а также оптимизацией норм высева, дозировок минеральных удобрений и средств защиты растений. С применением данных технологий становится возможным осуществление точечного внесения агрохимикатов, что снижает химическую нагрузку на агроэкосистемы. Это способствует сохранению плодородия и агрономически ценной структуры почв, предотвращает эрозионные процессы и поддерживает биоразнообразие почвенной микробиоты. По данным проекта EOS SAT, «точные и своевременные сведения о состоянии посевов позволяют сельскохозяйственным производителям минимизировать объемы потребляемых ресурсов, тем самым снижая негативное воздействие на окружающую среду» [12]. Дополнительный экологический эффект достигается за счет сокращения числа проходов сельскохозяйственной техники по полям, что приводит к уменьшению выбросов парниковых газов, в частности диоксида углерода (CO₂), и способствует трансформации аграрного сектора в сторону климатически нейтральных и устойчивых моделей ведения сельского хозяйства.

Автоматизация и технологии Интернета вещей (IoT) на основе спутниковой связи решают ключевую проблему удаленных сельскохозяйственных регионов – отсутствие покрытия сотовых сетей. Спутниковые IoT-сети, такие как Lascuna Space [13], ориентированы на поддержку автономных сенсорных устройств, передающих малые объемы данных о состоянии почвы, посевах и скота. Интеграция спутниковых каналов связи с парком сельскохозяйственной техники и распределенной сетью полевых сенсоров позволяет формировать единое информационно-управляющее пространство, в рамках которого программные комплексы точного земледелия автоматически корректируют агротехнологические режимы.

Биотехнологии и замкнутые системы жизнеобеспечения, изначально создававшиеся для длительных космических миссий, оказывают значительное обратное влияние на земное сельское хозяйство. На борту МКС успешно функционируют фитотронные комплексы (Veggie, Advanced Plant Habitat [14]), демонстрирующие возможность выращивания растений в условиях микрогравитации (рис. 2). Наиболее амбициозной инициативой в этой области является проект Европейского космического агентства (ЕКА) MELiSSA (англ.: *Micro-Ecological Life Support System Alternative*) [15], направленный на создание искусственной замкнутой экосистемы с полной переработкой отходов. Технологии, отработанные в рамках MELiSSA, уже находят практическое применение на Земле, например в системах очистки и повторного использования воды.



Рис. 2. Фитотронный комплекс

Отдельным перспективным направлением является космическая селекция, основанная на экспозиции семян в условиях низкой околоземной орбиты. Комплексное воздействие ионизирующего излучения, микрогравитации и ослабленного геомагнитного поля инициирует космический мутагенез с частотой мутаций до 4 %, что значительно превышает естественный

фон. Лидером в этой области является Китай, где с 1987 г. выведено свыше 200 новых сортов сельскохозяйственных культур, таких как высокоурожайная и засухоустойчивая пшеница «Лююань 502», успешно внедренных в коммерческое производство и обеспечивающих значительный экономический эффект [16].

Специфика и практика в России

В Российской Федерации развитие технологий ДЗЗ и тематической спутниковой аналитики представляет собой приоритетное стратегическое направление, нацеленное на укрепление национальной продовольственной безопасности. Ключевую роль в формировании научно-методологической базы играют профильные научно-исследовательские организации, такие как Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН) и Научно-исследовательский центр «Планета» [17]. Эти учреждения разрабатывают передовые алгоритмы обработки данных, используя как информацию с отечественных спутниковых систем («Метеор-М», «Канопус-В», «Ресурс-П» [18–20]), так и с международных платформ, в частности миссии Sentinel-2. Особенностью российского рынка является наличие крупных интеграторов, обеспечивающих полный технологический цикл. Лидирующие позиции в этом сегменте занимает группа компаний «СканЭкс» [21], которая осуществляет непосредственный прием данных через собственную сеть наземных станций, их обработку и предоставление конечным пользователям готовых решений, таких как VRA внесения удобрений.

В области точной агротехники и автоматизации наблюдается ускоренная цифровая трансформация. Основу технологической базы составляет высокоточное спутниковое позиционирование (ГЛОНАСС/GNSS с коррекцией по технологии RTK (англ.: *Real Time Kinematic*)), обеспечивающее сантиметровую точность. Компания «Ростсельмаш» реализует системный подход к формированию собственной цифровой экосистемы «Агротроник» [22], включающей системы автоматического вождения («PCM Агротроник Пилот» [23]), автоматизацию процессов уборки («PCM Контроль силосопровода» [24]) и цифровую диспетчеризацию парка техники («PCM Роутер»). Для обеспечения технологической независимости предлагаются собственные наземные RTK-базовые станции.

В условиях современных геополитических вызовов активизировались отечественные предприятия в сфере разработки высокоточного навигационного оборудования («Ориент Системс», «НВС Навигационные Технологии»). Одним из перспективных направлений преодоления цифрового неравенства является интеграция сельскохозяйственной техники с низкоорбитальными спутниковыми системами связи (LEO) [25], что обеспечит надежный канал передачи данных и RTK-поправок в любой точке страны.

В сфере биотехнологий и замкнутых систем ведущую роль играет Институт медико-биологических проблем РАН (ИМБП РАН), располагающий

уникальным наземным экспериментальным комплексом для моделирования длительных космических миссий. Значительный научный задел был накоплен в рамках разработки систем «БИОС» в Красноярске [26, 31], где осуществлялась селекция растений, адаптированных к условиям замкнутых экосистем (рис. 3). Логическим продолжением этих исследований стала международная программа SIRIUS [27, 32], в рамках которой отрабатываются сценарии межпланетных экспедиций. Отработанные в замкнутых системах жизнеобеспечения (англ.: *Bioregenerative Life Support Systems, BLSS*) технологические решения по замыканию циклов воды и питательных элементов обладают прямым прикладным потенциалом для земного сельского хозяйства, в частности, для развития высокотехнологичных вертикальных ферм и тепличных хозяйств (англ.: *Controlled Environment Agriculture, CEA*) [28, 33].



Рис. 3. БИОС-3 экспериментальный комплекс
красноярского Института биофизики

Космическая технология, успешно интегрированная в технологическое производство агропромышленного сектора

Одним из наиболее показательных случаев прямого технологического трансфера из сферы космических исследований в агропромышленный сектор является разработка ионитных питательных субстратов под торговой маркой «ЦИОН» (рис. 4). Истоки данной технологии восходят к 1960-м гг., когда в Институте физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси в рамках советской космической программы «МАВР» (Марс и Венера) был синтезирован первый ионитный субстрат – «Биона» [29]. Первоначально предназначенная для обеспечения жизнедеятельности растений в условиях длительных космических миссий, данная технология в настоящее время успешно применяется в сельскохозяйственной практике и частном садоводстве. Суть метода заключается в использовании

ионообменных свойств субстрата. Современные модификации продукции основаны на природном цеолитсодержащем сырье и содержат полный комплекс макро- и микроэлементов (азот, фосфор, калий, серу и свыше двадцати микроэлементов), химически связанных с функциональными группами носителя.



Рис. 4. Ионитный питательный субстрат торговой марки «ЦИОН»

В отличие от традиционных удобрений, питательные вещества в данном случае поступают в корневую зону не пассивно, а в результате обменной реакции с органическими выделениями корней (экссудатами) (рис. 5).



Рис. 5. Механизм воздействия на ризосферу

Такой механизм обеспечивает дозированное и физиологически обоснованное питание растений, исключая перенасыщение почвы, повреждение корневой системы и вымывание биогенных элементов в нижележащие горизонты, что подчеркивает экологическую безопасность данной технологии. Коммерциализацией и дальнейшим развитием технологии занимается ООО «ЦИОН Рус» [30]. Компания выпускает специализированные формулы субстратов, адаптированные под агробиологические особенности различных культур: «ЦИОН для овощей», «ЦИОН для зелени», «ЦИОН для клубники», «ЦИОН для цветов» и др. По данным производителя, однократного внесения субстрата достаточно для обеспечения полноценного питания растений

на протяжении нескольких вегетационных периодов, что упрощает агротехнические процессы, снижает трудозатраты и способствует рациональному использованию ресурсов.

Выводы

Космические технологии все более устойчиво закрепляются в качестве стратегического ресурса модернизации и устойчивого развития АПК. Анализ международной и отечественной практики подтверждает их возрастающую значимость для повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Современные подходы к точному земледелию базируются на интеграции данных ДЗЗ, включая мульти- и гиперспектральные съемки, с наземными сенсорными системами и беспилотными летательными аппаратами. Использование спутниковых платформ (Sentinel-2, SMAP, NISAR) в сочетании с расчетом NDVI и NDRE позволяет оперативно оценивать состояние посевов, прогнозировать урожайность, осуществлять дифференцированное применение агрохимикатов и оптимизировать режимы орошения. Подобные решения способствуют росту продуктивности на 25–30 %, снижению эксплуатационных затрат и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Глобальные программы, такие как NASA Harvest и GEOGLAM, подтверждают вклад спутниковой аналитики в укрепление продовольственной безопасности.

Особое значение приобретает преодоление цифрового разрыва в удаленных аграрных регионах. Технологии спутниковой связи (в частности IoT-решения, например Lacuna Space) и высокоточные навигационные системы (ГЛОНАСС/GNSS с RTK-коррекцией) обеспечивают стабильную передачу данных и автоматизацию производственных процессов, формируя единое цифровое пространство управления.

Перспективным направлением выступает также трансфер достижений космической биотехнологии в наземное сельское хозяйство. Опыт создания BLSS в рамках проектов MELiSSA, экспериментов на МКС (Veggie, Advanced Plant Habitat) и наземных комплексов (БИОС-3, SIRIUS) ложится в основу разработки вертикальных ферм и тепличных хозяйств с СЕА, функционирующих по принципу замкнутого цикла водопотребления и питания. Отдельный интерес представляет космическая селекция, позволяющая ускоренно получать новые сорта сельскохозяйственных культур с повышенной урожайностью и устойчивостью к стрессовым факторам.

В Российской Федерации развитие агрокосмических решений закреплено в числе стратегических приоритетов. Сформирована устойчивая научно-методическая база (ИКИ РАН, НИЦ «Планета»), активно задействована отечественная спутниковая группировка («Канопус-В», «Ресурс-П»), функционируют интеграторы полного цикла («СканЭкс»), а производители

сельхозтехники (например «Ростсельмаш») развивают собственные цифровые платформы («Агротроник»). В условиях необходимости импортозамещения усиливается разработка отечественных высокоточных навигационных решений.

Прямой технологический трансфер из космической отрасли также демонстрирует практическую ценность. В качестве примера можно привести ионитный питательный субстрат «ЦИОН», первоначально разработанный для выращивания растений в условиях длительных космических миссий и в настоящее время успешно применяемый в земледелии для точечного и экологически безопасного питания культур.

Таким образом, дальнейшее внедрение космических технологий в АПК следует рассматривать как необходимое условие обеспечения его конкурентоспособности, устойчивости и способности адекватно реагировать на глобальные вызовы, связанные с продовольственной безопасностью и климатическими изменениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли / Д.А. Хабаров, Т.С. Адиев, О.О. Попова, В.А. Чугунов [и др.] // Московский экономический журнал. – 2019. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-tehnologiy-distantionnogo-zondirovaniya-zemli> (дата обращения: 10.10.2025).
2. Космос – сельскому хозяйству // ГеоМир: [сайт]. – URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/kosmos-selskomu-khozyaystvu/> (дата обращения: 10.10.2025).
3. Современное состояние ГИС. – Текст: электронный // Proxima: [сайт]. – URL: https://gisproxima.ru/sovremennoe_sostoyanie (дата обращения: 10.10.2025).
4. NDVI / Sentinel Hub Custom Scripts. – URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/> (дата обращения: 19.10.2025).
5. Разработка инновационных методических подходов по применению современных цифровых технологий дистанционного мониторинга и зондирования в пастбищном животноводстве. – Текст: электронный // Агронет. Отраслевая сеть инноваций в АПК: [сайт]. – URL: <https://apknet.ru/pastbishchnom-zhivotnovodstve/> (дата обращения: 19.10.2025).
6. Методика инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации с целью формирования единой федеральной карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения, включая сельскохозяйственные угодья. В 3 томах. Том 2: методические рекомендации / А.В. Федоринов, О.А. Сорокина, С.И. Комаров, С.Н. Волков [и др.]; под общ. ред А.В. Федоринова. – Москва: ГУЗ, 2025. – 120 с.
7. Методика инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации с целью формирования единой федеральной карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения, включая сельскохозяйственные угодья. В 3 томах. Том 1. Методика инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения на территории субъекта Российской Федерации (за исключением

- новых регионов) с целью формирования карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения, включая сельскохозяйственные угодья: методические рекомендации / А.В. Федоринов, О.А. Сорокина, С.И. Комаров, С.Н. Волков [и др.]; под общ. ред. А.В. Федоринова. – Москва: ГУЗ, 2025. – 136 с.
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. – Москва: Росинформагротех, 2023. – 372 с.
 9. Sentinel-2. Copernicus // European Space Agency: [website]. – URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel-missions/sentinel-2> (дата обращения: 19.10.2025).
 10. SMAP (Soil Moisture Active Passive) // NASA Jet Propulsion Laboratory. – URL: <https://smap.jpl.nasa.gov/> (дата обращения: 19.10.2025).
 11. NASA-ISRO SAR Mission (NISAR) // NASA Science. – URL: <https://science.nasa.gov/mission/nisar/> (дата обращения: 19.10.2025).
 12. NASA Harvest: [website]. – URL: <https://www.nasaharvest.org/> (дата обращения: 19.10.2025).
 13. Crop Monitor // Geoglam Crop Monitor: [website]. – URL: <https://www.cropmonitor.org/> (дата обращения: 19.10.2025).
 14. IntTerra SkyScout (СкайСкаут). – Текст: электронный // Tadviser: [сайт]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:IntTerra_SkyScout_\(СкайСкаут\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:IntTerra_SkyScout_(СкайСкаут)) (дата обращения: 19.10.2025).
 15. EOSSAT-1 // Dragonfly Aerospace: [website]. – URL: <https://dragonflyaerospace.com/eosat-1/> (дата обращения: 19.10.2025).
 16. Lacuna Space: [website]. – URL: <https://lacuna-space.com/> (дата обращения: 19.10.2025).
 17. Advanced Plant Habitat // NASA Science: [website]. – URL: <https://science.nasa.gov/mission/advanced-plant-habitat/> (дата обращения: 19.10.2025).
 18. Melissa // European Space Agency: [website]. – URL: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Melissa (дата обращения: 19.10.2025).
 19. Как ядерные методы помогают накормить население Китая. – Текст: электронный // МАГАТЭ: [сайт]. – 2021. – URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/kak-yadernye-metody-pomogayut-nakormit-naselenie-kitaya> (дата обращения: 19.10.2025).
 20. Научно-исследовательское управление (НИУ) // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет): официальный сайт. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/niu/359/> (дата обращения: 19.10.2025).
 21. Космический аппарат «Аист-2Д». – Текст: электронный // РКЦ Прогресс: [сайт]. – URL: <https://rcpod.ru/about/kosmicheskie-apparaty/detail.php?ID=142> (дата обращения: 19.10.2025).
 22. Космический аппарат «Зонд-ПП». – Текст: электронный // РКЦ Прогресс: [сайт]. – URL: <https://rcpod.ru/about/kosmicheskie-apparaty/detail.php?ID=143> (дата обращения: 19.10.2025).
 23. Роскосмос и Минсельхоз России договорились о сотрудничестве. – Текст: электронный // Роскосмос: [сайт]. – 2019. – URL: <https://www.roscosmos.ru/24984/> (дата обращения: 19.10.2025).

24. Инженерно-технологический центр Сканекс: [сайт]. – URL: <https://www.scanex.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).
25. Варфоломеев, А.Ф. Использование RTK-режима систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС при проведении топографических работ / А.Ф. Варфоломеев, О.Ю. Чудайкина // Cyberleninka.ru: [сайт]. – 2015. – № 4(45). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-rtk-rezhima-sistem-globalnogo-pozitsionirovaniya-gps-i-glonass-pri-provedenii-topograficheskikh-rabot> (дата обращения: 19.10.2025).
26. Цифровая экосистема для сельского хозяйства «Агротроник». – Текст: электронный // Ростсельмаш: [сайт]. – URL: <https://agrotronic.rostselmash.com/> (дата обращения: 19.10.2025).
27. Система автоуправления Agrotronic Pilot 1.0. – Текст: электронный // Ростсельмаш: [сайт]. – URL: <https://rostselmash.com/electronic-systems/sistemy-avtoupavljeniya-mashin/agrotronik-pilot-1-0/> (дата обращения: 19.10.2025).
28. Система контроля силосопривода RSM. – Текст: электронный // Ростсельмаш: [сайт]. – URL: <https://rostselmash.com/electronic-systems/povysheniya-effektivnosti-kormoborochnykh-kombaynov/rsm-kontrol-silosoprivoda/> (дата обращения: 19.10.2025).
29. Ориент Системс. Системы ориентации и стабилизации // Orsyst: [сайт]. – URL: <https://orsyst.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).
30. What is Low Earth Orbit (LEO)? // Panasonic Aero: [website]. – URL: <https://www.panasonic.aero/blog/blog-post/what-is-low-earth-orbit-leo-and-how-does-it-benefit-airline-connectivity> (дата обращения: 19.10.2025).
31. Красноярские биофизики готовы к созданию замкнутой системы жизнеобеспечения нового типа. – Текст: электронный // КНИЦ СО РАН: [сайт]. – 2024. – URL: https://ksc.krasn.ru/news/krasnoyarskie_biofiziki_gotovy_k_sozdaniyu_zamknutoy_sistemy_zhizneobespecheniya_novogo_tipa/ (дата обращения: 19.10.2025).
32. Проект «Сириус» – Текст: электронный // Sirius.ru: [сайт]. – URL: <http://sirius.imbr.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).
33. Controlled Environment Agriculture (CEA) // The University of Arizona: [website]. – URL: <https://ceac.arizona.edu/> (дата обращения: 19.10.2025).

REFERENCES

1. Khabarov D.A., Adiev T.S., Popova O.O., Chugunov V.A., Kozhevnikov V.A. Analysis of Modern Technologies for Remote Sensing of the Earth // Moscow Economic Journal. – 2019. – No 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-tehnologiy-distantsionnogo-zondirovaniya-zemli> (date of access: 10.10.2025).
2. Space for Agriculture // GeoMir. – URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/kosmos-selskomu-khozyaystvu/> (date of access: 10.10.2025).
3. Current state of GIS // Proxima. – URL: https://gisproxima.ru/sovremennoe_sostoyanie (date of access: 10.10.2025).
4. NDVI // Sentinel Hub Custom Scripts. – URL: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndvi/> (date of access: 19.10.2025).

5. Development of Innovative Methodological Approaches to the Application of Modern Digital Technologies for Remote Monitoring and Sensing in Pasture Livestock Farming. – URL: <https://apknet.ru/pastbishchnom-zhivotnovodstve/> (date of access: 19.10.2025).
6. Methodology of Inventory of Agricultural Lands of the Russian Federation With the aim of Forming a Unified Federal Map-Scheme of Agricultural Lands, Including Agricultural Lands. In 3 Vol. Vol. 2: Methodological Recommendations / A.V. Fedorinov, O.A. Sorokina, S.I. Komarov, S.N. Volkov [et al.]. – Moscow State University, 2025. – 120 p.
7. Methodology for Inventory of Agricultural Lands of the Russian Federation for the Purpose of Forming a Unified Federal Map-Scheme of Agricultural Lands, Including Agricultural Lands. In 3 Vol. Vol. 1. Methodology for Inventory of Agricultural Lands on the Territory of a Constituent Entity of the Russian Federation (Except For New Regions) for the Purpose of Forming a Map-Scheme of Agricultural Lands, Including Agricultural Lands: Methodological Recommendations / A.V. Fedorinov, O.A. Sorokina, S.I. Komarov, S.N. Volkov [et al.]. – Moscow: GU3, 2025. – 136 p.
8. Report on the Status and Use of Agricultural Land in the Russian Federation in 2022. – Moscow: Federal State Budgetary Scientific Institution “Rosinformagrotekh”, 2023. – 372 p.
9. Sentinel-2 // Copernicus. – URL: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel-missions/sentinel-2> (date of access: 19.10.2025).
10. SMAP (Soil Moisture Active Passive) // NASA Jet Propulsion Laboratory. – URL: <https://smap.jpl.nasa.gov/> (date of access: 19.10.2025).
11. NASA-ISRO SAR Mission (NISAR) // NASA Science. – URL: <https://science.nasa.gov/mission/nisar/> (date of access: 19.10.2025).
12. NASA Harvest. – URL: <https://www.nasaharvest.org/> (date of access: 19.10.2025).
13. Crop Monitor // GEOGLAM. – URL: <https://www.cropmonitor.org/> (date of access: 19.10.2025).
14. IntTerra SkyScout (SkyScout) // Tadviser. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:IntTerra_SkyScout_\(СкайСкаут\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:IntTerra_SkyScout_(СкайСкаут)) (date of access: 19.10.2025).
15. EOSSAT-1 // Dragonfly Aerospace: [website]. – URL: <https://dragonflyaerospace.com/eosat-1/> (date of access: 19.10.2025).
16. Lacuna Space: [website]. – URL: <https://lacuna-space.com/> (date of access: 19.10.2025).
17. Advanced Plant Habitat // NASA Science: [website]. – URL: <https://science.nasa.gov/mission/advanced-plant-habitat/> (date of access: 19.10.2025).
18. Melissa // European Space Agency: [website]. – URL: https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Melissa (date of access: 19.10.2025).
19. How Nuclear Techniques Are Helping Feed China’s Population // IAEA. – 2021. – URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/kak-yadernye-metody-pomogayut-nakormit-naselenie-kitaya> (date of access: 19.10.2025).
20. Scientific-Research Department (SRD) // Roshydromet. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/niu/359/> (date of access: 19.10.2025).
21. Spacecraft Aist-2D // RKTs Progress. – URL: <https://rcpod.ru/about/kosmicheskie-apparaty/detail.php?ID=142> (date of access: 19.10.2025).

22. The Zond-PP Spacecraft // RKTs Progress: [website]. – URL: <https://rcpod.ru/about/kosmicheskie-apparaty/detail.php?ID=143> (date of access: 19.10.2025).
23. Roscosmos and the Russian Ministry of Agriculture Have Agreed on Cooperation // State Corporation Roscosmos: [website]. – URL: <https://www.roscosmos.ru/24984/> (date of access: 19.10.2025).
24. Engineering and Technology Center ScanEx: [website]. – URL: <https://www.scanex.ru/> (date of access: 19.10.2025).
25. Varfolomeev, A.F. Using the RTK Mode of the Global Positioning Systems GPS and GLONASS in Topographic Work / A. F. Varfolomeev, O. Yu. Chudaykina // Cyberleninka.ru: [website]. – 2015. – No 4(45). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-rtk-rezhima-sistem-globalnogo-pozitsionirovaniya-gps-i-glonass-pri-provedenii-topograficheskikh-rabot> (date of access: 19.10.2025).
26. Digital Ecosystem for Agriculture “Agrotronic” // Rostselmash: [website]. – URL: <https://agrotronic.rostselmash.com/> (date of access: 19.10.2025).
27. Agrotronic Pilot 1.0 Automatic Control System // Rostselmash: [website]. – URL: <https://rostselmash.com/electronic-systems/sistemy-avtoupavlaniya-mashin/agrotronic-pilot-1-0/> (date of access: 19.10.2025).
28. Silo Drive Control System RSM // Rostselmash: [website]. – URL: <https://rostselmash.com/electronic-systems/povysheniya-effektivnosti-kormoubo-rochnykh-kombaynov/rsm-kontrol-silosoprivoda/> (date of access: 19.10.2025).
29. Orient Systems. Orientation and Stabilization Systems // Orsyst: [website]. – URL: <https://orsyst.ru/> (date of access: 19.10.2025).
30. What is Low Earth Orbit (LEO)? // Panasonic Aero: [website]. – URL: <https://www.panasonic.aero/blog/blog-post/what-is-low-earth-orbit-leo-and-how-does-it-benefit-airline-connectivity> (date of access: 19.10.2025).
31. Krasnoyarsk Biophysicists are Ready to Create a new Type of Closed Life Support System // KSC SB RAS. – 2024. – URL: https://ksc.krasn.ru/news/krasnoyarskie_biofiziki_gotovy_k_sozdaniyu_zamknutoy_sistemy_zhizneobespecheniya_novogo_tipa/ (date of access: 19.10.2025).
32. Project Sirius // Sirius.ru: [website]. – URL: <http://sirius.imbp.ru/> (date of access: 19.10.2025).
33. Controlled Environment Agriculture (CEA) // The University of Arizona: [website]. – URL: <https://ceac.arizona.edu/> (date of access: 19.10.2025).