МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ, ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аналитический обзор

Москва 2020

Техника и оборудование для села

Сельхозпроизводство ⊛ Переработка ⊛ Агротехсервис ⊛ Агробизнес

ЖУРНАЛ «ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА» – ВАШ ПОМОЩНИК В НАУЧНОЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ, УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ!

Ежемесячный полнокрасочный научно-производственный и информационно-аналитический журнал «Техника и оборудование для села», учредителем и издателем которого является ФГБНУ «Росинформагротех», выпускается с 1997 г. при поддержке Минсельхоза России и Россельхозакадемии. За это время журнал стал одним из ведущих изданий в отрасли и как качественное и общественно значимое периодическое средство массовой информации в 2008, 2009 и 2011 гг. удостоен знака отличия «Золотой фонд прессы». В редакционный совет журнала входят 7 академиков РАН.

В журнале освещаются актуальные проблемы технической и технологической модернизации АПК: инновационные проекты, технологии и оборудование, энергосбережение и энергоэффективность; механизация, электрификация и автоматизация производства и переработки сельхозпродукции; агротехсервис; аграрная экономика; информатизация в АПК; развитие сельских территорий; технический уровень сельскохозяйственной техники; возобновляемая энергетика и др.

Журнал является постоянным участником большинства международных и российских выставок, конференций и других крупных мероприятий в области АПК, проходящих в России, неоднократно отмечался почетными грамотами, дипломами и медалями (более 10).

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, входит в ядро РИНЦ и базу данных RSCI.

Регионы распространения журнала: Центральный, Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Северный, Северо-Западный, Калининградская область, а также государства СНГ (Украина, Беларусь, Казахстан).

Индекс в каталоге агентства «Роспечать» – 72493, в объединенном каталоге «Пресса России» – 42285.

Стоимость подписки на 2020 г. с доставкой по Российской Федерации – 8712 руб. с учетом НДС (10%), по СНГ и странам Балтии – 9936 руб. (НДС – 0%).

Приглашаем разместить в журнале «Техника и оборудование для села» информационные (рекламные) материалы, соответствующие целям и профилю журнала.

Подписку и размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» с любого месяца, на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет.

Банковские реквизиты: УФК по Московской области (Отдел № 28 Управления Федерального казначейства по МО);
ИНН 5038001475/КПП 503801001
ФГБНУ «Росинформагротех», л/с 20486X71280,
р/с 40501810545252000104 в ГУ Банка России по ЦФО, БИК 044525000.
В назначении платежа указать код КБК (000 0000 0000000 000 440), ОКТМО 46758000.

Адрес редакции: 141261, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Лесная, 60, Росинформагротех, журнал «Техника и оборудование для села».
Справки по телефонам: (495), 993-44-04, (496) 531-19-92;
E-mail: r_technica@mail.ru, fgnu@rosinformagrotech.ru

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-
техническому обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ, ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аналитический обзор

Москва 2020

УДК 631.171:332.3
ББК 65.32-5
Ц 75

Рецензенты:
Снежко В.Л., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой информационных технологий в АПК (Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева);
Старовойтов В.И., д-р техн. наук, проф., зав. отделом (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»)

Ц 75 **Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Балабанов В.И., Зейлигер А.М., Петухов Д.А. Цифровые технологии оценки, планирования и прогнозирования использования земель сельскохозяйственного назначения**: аналит. обзор – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 92 с.

ISBN 978-5-7367-1592-3

Проанализировано состояние и рассмотрены перспективные направления разработки и использования цифровых технологий и систем оценки, планирования и использования земель сельскохозяйственного назначения, с помощью которых можно измерять качество растительного покрова (температура листьев, содержание хлорофилла и воды), почвы (данные о плодородии почвы, концентрации удобрений, питательных веществ и др.) на всех стадиях – от посева до уборки. Рассмотрены основные вегетационные индексы, определяемые на основе спутниковых технологий, для проведения комплексной оценки состояния сельскохозяйственных земель, решения вопросов планирования, оценки и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур и др.

Предназначен для специалистов агропромышленного комплекса, научных работников, преподавателей и студентов образовательных учреждений и лиц, принимающих управленческие решения по технологической модернизации сельского хозяйства.

Buklagin, D.S., Mishurov, N.P., Balabanov, V.I., Zeiliger, A.M., Petukhov, D.A. *Digital Technologies for Assessing, Planning and Forecasting the Use of Agricultural Lands, An Analytic Review* (Moscow: Rosinformagrotekh) 92 (2020)

The state of the development and use of digital technologies and systems for assessing the planning and use of agricultural lands is analyzed and their promising areas are discussed. These technologies can be used to measure the quality of the vegetation cover (leaf temperature, chlorophyll and water content) and soil (data on soil fertility, concentration of fertilizers, nutrient substances, etc.) at all stages from sowing to harvesting. The main vegetation indices to be determined based on satellite technologies are discussed for carrying out a comprehensive assessment of the state of agricultural lands, solving issues of planning, assessing and forecasting the productivity of agricultural crops, etc.

It is intended for specialists in the agricultural sector, researchers, teachers and students of educational institutions and those who make managerial decisions on the technological modernization of agriculture.

УДК 631.171:332.3
ББК 65.32-5

ISBN 978-5-7367-1592-3

© ФГБНУ «Росинформагротех», 2020

ВВЕДЕНИЕ

Высокие технологии интенсивно внедряются в практику сельскохозяйственного производства. Среди основных трендов – технологии дистанционного зондирования земель (ДЗЗ), точного земледелия, облачные сервисы управления сельскохозяйственными предприятиями и др.

Сельскохозяйственное производство в бóльшей степени зависит от климатических условий, что влияет на выбор направления производства и рынки сбыта сельскохозяйственной продукции, объемы импортно-экспортных операций, цены и во многом предопределяет затраты на субсидирование сельского хозяйства.

Большое значение имеют независимая оценка объемов производства сельскохозяйственной продукции и их заблаговременное прогнозирование, а также независимый контроль за информацией, поступающей от производителей, которая используется для регулирования рынков сельскохозяйственной продукции и планирования ее производства [1].

Наиболее эффективным и востребованным средством решения таких задач является применение цифровых технологий аэрокосмического мониторинга сельскохозяйственных угодий для оценки площадей посевов сельскохозяйственных культур, их состояния, управления орошением посевов сельскохозяйственных культур, для прогнозирования их урожайности, оценки плодородия и степени деградации почв, фиксации чрезвычайных ситуаций на полях, учета, инвентаризации и классификации сельхозугодий с одновременным формированием специальных крупномасштабных сельскохозяйственных планов и карт, а также контроля уборки урожая, определения емкости пастбищ различных типов, продуктивности сенокосов и др. [2, 3].

Как отмечают специалисты, крупным агрофирмам данные аэрокосмической съемки необходимы для решения стратегических задач, включающих в себя прогнозирование условий вегетации, выбор места и времени посева, вопросы страхования, оценки стоимости земли и др.

Крупные аграрные компании нуждаются в данных космической съемки для автопилотирования и параллельного вождения, отслеживания перемещений техники, дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений. Средним агрофирмам эти данные нужны для автопилотирования, параллельного вождения и управления погодными рисками, а малым хозяйствам – для решения более повседневных задач: дифференцированного орошения, внесение удобрений, взаимодействия между техникой, мониторинга посевов, оценки стоимости земли, обоснования технологических и управленческих решений, оптимизации расходов [4].

Концепцией государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения до 2020 года предусмотрено решение этих проблем путем развития дистанционного зондирования как наиболее оперативного и объективного источника информации о плодородии земель сельскохозяйственного назначения [5, 6].

Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – космическая съемка и съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов позволяет получить информацию, отображающую объективную картину состояния почвенного и растительного покрова сельскохозяйственных земель [7].

Земли сельскохозяйственного назначения (ЗСН) занимают обширные территории (382,5 млн га), которые сложно контролировать из-за недостатка картографического обеспечения, неразвитой сети наземного оперативного мониторинга, постоянного изменения границ посевных площадей, характеристик почв и условий вегетации сельскохозяйственных культур на различных полях, изменения других, влияющих на производство, факторов. Без получения объективной, оперативной информации, характеризующей текущую ситуацию, практически невозможны планирование и увеличение производства сельскохозяйственной продукции, оптимизация использования земель, прогнозирование урожайности, снижение затрат и повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

Кроме того, как показала практика, получение земли в собственность не улучшило эффективность ее использования. По-прежнему отмечаются повсеместное проявление деградации земель, полная зависимость от проявления негативных природных и природно-тех-

нических явлений (периодически проявляющийся недостаток естественного увлажнения, негативное воздействие водной и ветровой эрозии, недостаток мелиоративных мероприятий, подтопление и др.).

Все эти обстоятельства создают острую потребность в объективной информации и контроле происходящих изменений в использовании земель сельскохозяйственного назначения, требуют постоянного развития системы сбора информации на основе современной технологической базы [8].

В настоящем обзоре рассмотрены цифровые системы ДЗЗ для оценки, планирования, прогнозирования и управления использованием ЗСН на основе определения показателей состояния растений, наличия проблемных зон, результатов мониторинга и прогнозирования урожайности, определения вегетационных индексов и использования в системах точного земледелия. Приведены перспективы использования систем ДЗЗ, нацеленные на решение новых задач мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и посевов сельскохозяйственных культур.

1. СОСТОЯНИЕ И ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ (ДЗЗ) СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Сельское хозяйство – одна из наиболее перспективных сфер для использования данных ДЗЗ. Сельскохозяйственные культуры хорошо отображаются на космических снимках, ничем не скрыты, однорусны, хорошо дешифрируются как по текстуре, так и по спектральным характеристикам [9]. Разнообразие средств получения снимков с ИСЗ и уровень их обработки в разных странах формируют соответствующие задачи и методы применения ДЗЗ для обеспечения устойчивого развития сельскохозяйственных территорий [10].

Комбинированный аэрокосмический мониторинг имеет четыре основных составляющих: зондирование поверхности; мультиспектральная съемка сельскохозяйственных угодий; ежедневный мониторинг и обработка полученных данных [11]. Результаты космической съемки позволяют использовать их как для решения комплексных задач управления сельскохозяйственными территориями, так и в узкоспециализированных направлениях, с помощью которых можно контролировать сроки и качество проведения основных агротехнических работ, оптимизировать управление сельскохозяйственным производством и предприятием [12].

Помимо космической съемки, существуют и другие технологии дистанционного зондирования: традиционная аэросъемка, а также съемка с беспилотных летательных аппаратов, которые в настоящем обзоре не рассматриваются, так как этим вопросам посвящен отдельный обзор ФГБНУ «Росинформагротех» (2020 г.).

Точная и своевременная информация о состоянии посевов и почвы, оценка качества и количества будущего урожая, прогноз цен на аграрную продукцию оказывают существенное влияние как на экономику отдельного хозяйства, региона, так и мировую торговлю в целом [9].

По космоснимкам выполняют инвентаризацию и картографирование земельных угодий на основе международной классификации

использования земель, а снимки высокого разрешения применяют для ведения земельного кадастра. При систематической повторяемости съемок проводят анализ динамики развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности. Например, зная, как меняется спектральная яркость растительности в течение вегетационного периода с учетом сельскохозяйственного календаря для разных культур, можно по тону изображения посевов судить об их агротехническом состоянии и составе культур. Возможность определения состава культур и площадей под ними делает снимки объективным источником сельскохозяйственной статистики.

Информация со спутников может быть использована для идентификации и учета площадей посевов, прогноза урожайности культур, оценки состояния посевов, сбора информации о дефиците элементов питания и распространении вредителей и болезней с целью обеспечения дифференцированного внесения удобрений и СЗР, определения площадей паров, контроля севооборотов и качества проведения работ, определения площадей вымерзания культур, площадей пастбищ и др. [11].

В настоящее время имеется множество спутников, осуществляющих дистанционное зондирование Земли с пространственным разрешением от 0,3-0,5 м до 1 км. Преимущества подобных снимков в том, что они охватывают большие территории [10-11, 13].

Необходимо отметить, что методы изучения Земли из космоса относят к высоким технологиям не только в связи с использованием спутниковых систем, сложных оптико-электронных приборов, компьютеров, но и с новым подходом к получению и интерпретации результатов измерений, которые постоянно развиваются.

Картографирование и обследование сельскохозяйственных земель с целью сбора информации и статистики по сельскохозяйственным культурам, пастбищным угодьям и другим направлениям, связанным с оценкой использования сельскохозяйственных ресурсов, проводятся во всем мире. Собранная информация необходима для реализации эффективных управленческих решений, планирования и распределения ограниченных ресурсов между различными секторами экономики.

Задачи по получению достоверной информации для практики обработки почвы (точное земледелие), о состоянии земель и посевов,

их изменениях во времени, прогнозу развития этих изменений и разработке мер для предотвращения продовольственной катастрофы с применением спутниковых систем решаются в разных странах, в том числе в России, США, Канаде, странах ЕС, где созданы свои стратегии ДЗЗ с учётом имеющегося экономического, научно-технического и природно-ресурсного потенциала [10].

К наиболее известным действующим системам сельскохозяйственного мониторинга можно отнести проект MARS (The Monitoring of Agriculture with Remote Sensing Объединенного исследовательского центра Еврокомиссии по мониторингу сельскохозяйственных земель), который позволяет определять площади посевов и урожайность сельскохозяйственных культур, начиная с уровня государств и регионов и заканчивая отдельными фермами. Результаты расчетов используются для налогового контроля за производителями продукции, выработки гибкой системы цен и квот, планирования экспортно-импортных операций и других мероприятий. Аналогичная система применяется Министерством сельского хозяйства США [14].

Минсельхоз России совместно с заинтересованными организациями готовит ежегодные доклады по различным аспектам состояния и использования земель СХН в Российской Федерации. Приводится аналитическая информация, направленная на выявление основных тенденций формирования политики рационального использования земель, обеспечения повышения производства сельскохозяйственной продукции при сохранении плодородия сельскохозяйственных угодий, а также структура и динамика использования земель СХН, возможности использования результатов спутникового мониторинга земель СХН в практике информационного обеспечения задач управления сельскохозяйственным производством [15-18]. Однако системы, аналогичной MARS, в России пока нет.

Головной организацией Госкорпорации «Роскосмос» по приему, обработке и распространению информации дистанционного зондирования Земли является Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) холдинга «Российские космические системы» (входит в Госкорпорацию «Роскосмос»). НЦ ОМЗ выполняет функции наземного комплекса планирования, приема, обработки и распространения космической информации с российских космиче-

ских аппаратов ДЗЗ. В настоящее время российская орбитальная группировка дистанционного зондирования Земли состоит из космических аппаратов серий «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М» и «Электро-Л» [19].

Перечень приоритетных направлений и решаемых задач в сфере сельского хозяйства с применением данных ДЗЗ постоянно расширяется. В настоящее время к таким задачам относятся [7, 20]:

- картографирование сельскохозяйственных угодий и прилегающих территорий, создание и актуализация карт сельскохозяйственных земель, в том числе неучтенных обрабатываемых земель;
- мониторинг изменения границ посевных площадей;
- мониторинг состояния посевов на основе расчета вегетационных индексов;
- оценка продуктивности и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур;
- картографирование характеристик почвенного покрова земель сельскохозяйственного назначения, уточнение и обновление существующих почвенных и агрономических карт на основе материалов актуальной космической съемки;
- выявление участков деградации и проградации земель сельскохозяйственного использования;
- оценка водного стресса посевов сельскохозяйственных культур;
- оперативное управление орошением посевов сельскохозяйственных культур;
- планирование и мониторинг агротехнических, противоэрозионных и других мероприятий, связанных с сельскохозяйственным производством и др.

Доступ к данным ДЗЗ и аналитике по ним открыт в 2017 г. в рамках федеральной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Данные в цифровой форме в значительной степени расширяют возможности космической отрасли по предоставлению услуг дистанционного зондирования земель сельскохозяйственного назначения.

Разработаны технологии и методики использования данных ДЗЗ, которые позволяют предложить уникальные решения для внедрения новейших практик оценки и использования ЗСН, предупреждения чрезвычайных ситуаций, устранении их последствий и др.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 июня 2008 г. № 450 «О Министерстве сельского хозяйства Российской Федерации» на Минсельхоз России возложены полномочия по осуществлению государственного мониторинга и использования земель сельскохозяйственного назначения. Приказом Минсельхоза России от 24.12.2015 г. № 664 утвержден «Порядок осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения», результаты которого, полученные в том числе на основе ДЗЗ, включались в государственную информационную систему «Функциональная подсистема «Электронный атлас земель сельскохозяйственного назначения» (ФГИС ФП АЗСН). В качестве картографической основы для ФГИС ФП АЗСН использовались данные с российских космических аппаратовс «Ресурс-П» (срок службы закончился в 2018 г.) и «Канопус-В» [15, 18, 21-22].

Комплекс спутников «Канопус-В» состоит из пяти космических аппаратов. Пространственное разрешение снимков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах составляет около 12 м, однако благодаря наличию одновременных снимков в панхроматическом режиме и использованию функции pan-sharpening пространственное разрешение можно довести до 2,7 м.

Для решения различных задач комплексной оценки сельскохозяйственных угодий ФГБУ «Аналитический центр Минсельхоза России» использует открытые спутниковые данные космических аппаратов «Landsat-8» и Sentinel-2», имеющие широкую полосу захвата и периодичность съемки 16 и 5 дней соответственно.

Использование материалов космической съемки отечественных аппаратов и открытых данных зарубежных спутников позволяет оперативно решать задачи по инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения и контролю качества севооборотов [18].

Развитием ФГИС ФП АЗСН является разработанная Минсельхозом России Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН), которая введена в эксплуатацию приказом Минсельхоза России от 2 апреля 2018 г. № 130 [23].

Система предназначена для информационной поддержки принятия управленческих решений на основе государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и его результатов, включающего сбор, хранение и обработку пространственных, атрибутивных, графических данных, описывающих местоположение, качественные и количественные характеристики сельскохозяйственных земель независимо от форм собственности, а также иных сведений, предоставляемых федеральными государственными бюджетными учреждениями, подведомственными Минсельхозу России, и поступающих в систему от федеральных органов исполнительной власти, органов власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в порядке информационного взаимодействия.

ЕФИС ЗСН обладает более развернутыми функциональными возможностями в части анализа данных и значительно более расширенным тематическим наполнением, обеспечивающим переход к задачам инвентаризации и оценки состояния сельскохозяйственных культур с учетом сведений о сельхозтоваропроизводителях. Кроме того, для решения этих задач предусмотрено широкое применение данных дистанционного зондирования с космических и летательных аппаратов [17].

Дистанционное зондирование Земли [англ. термин – Remote Sensing of Earth] – это наука и совокупность технологий, с помощью которых получают, обрабатывают и интерпретируют информацию о различных объектах земной поверхности без прямого физического контакта с этой поверхностью, посредством измерения отраженных или излученных электромагнитных волн в разных частях диапазона солнечной энергии а также излученной тепловой энергии (электромагнитного излучения) от земной поверхности, которое осуществляется в автоматическом режиме с помощью сенсоров, расположенных на орбитальных спутниках планеты. Общий принцип работы технологий ДЗЗ приведен на рис. 1 [24].

Электромагнитное излучение, испускаемое земными объектами разной температуры, является в большинстве случаев длинноволновым (до 1 мм). Часть такого излучения проходит через атмосферу и может быть зафиксирована инфракрасными тепловыми датчиками, а другая задерживается в атмосфере. Именно такая длинноволновая

радиация, регистрируемая сенсорами, и предоставляет информацию о тепловых характеристиках объектов на земной поверхности. В частности, в агрономии и орошаемом земледелии такого рода данные могут быть использованы для оценки составляющих суммарного испарения с поверхности растительного покрова, трендов их изменения, а также анализа водного стресса орошаемых посевов сельскохозяйственных культур [25, 26].

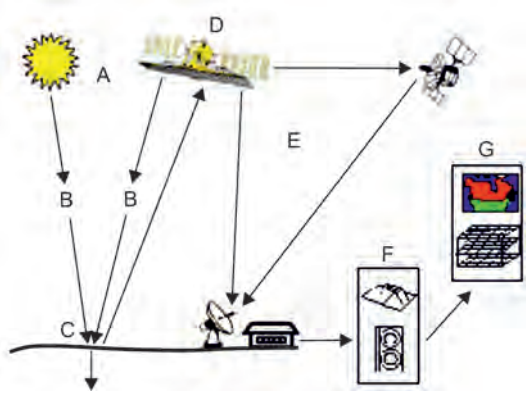

Рис. 1. Общий принцип работы технологий ДЗЗ
A – источник электромагнитной радиации (Солнце); B – прохождение солнечной радиации через атмосферу при взаимодействии с ней к земной поверхностью; C – отражение и испускание электромагнитного излучения от земной поверхности; D – фиксирование отраженной и испущенной энергии сенсором орбитального спутника и ее сохранение в специальном формате; E – передача и первичная обработка полученных данных; F – анализ данных (обработка полученных данных в соответствии с поставленными целями), интерпретация полученных результатов; G – конечное применение полученных результатов (разработка картограмм, анализ пространственных данных (геоданных), принятие решений и др.)

Тепловой инфракрасный диапазон расположен за видимой, ближней и средней инфракрасной частями электромагнитного спектра (3-1000 мкм). При дистанционном зондировании Земли из космоса

прием теплового излучения ведется только в участках спектра, соответствующих окнам прозрачности атмосферы (рис. 2) в диапазонах 3,0-5,0 и 8,0-14,0 мкм [27].

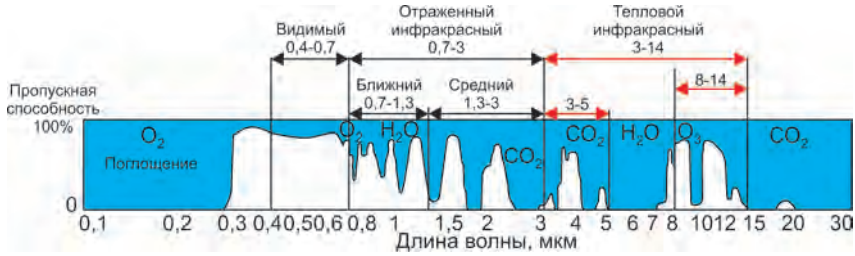

Рис. 2. Окна прозрачности атмосферы

В диапазоне 8,0-14,0 мкм озоновый слой земной атмосферы (O_3) поглощает большое количество теплового излучения с длиной волны от 9,2 мкм до 10,2 мкм. Поэтому спутниковые системы инфракрасного теплового зондирования регистрируют данные только в промежутках 8,0-9,2 мкм и 10,5-12,5 мкм для исключения этого участка поглощения электромагнитных волн.

Важным параметром, учитываемым при дистанционном изучении поверхности, является излучательная способность объектов окружающего мира – горных пород, почвы, растений, воды и т.д., обладающих некоторыми свойствами, которые обусловливают различную интенсивность излучения разных объектов при одинаковой температуре. Эти различия заложены в основу понятия излучательной способности и являются причиной невозможности непосредственного определения температуры объектов по тепловым снимкам.

Два объекта земной поверхности могут иметь абсолютно одинаковые кинетические температуры, но при этом характеризоваться различной интенсивностью теплового излучения, фиксируемой методами дистанционного зондирования, в силу различий значений их излучательной способности. Излучательная способность объектов, определенная по снимкам, может зависеть от определенного набора факторов, относящихся как к свойствам объектов, так и к особенностям получения данных (цвет, шероховатость поверхности, содержание влаги, спрессованность материала, длина волны и др.).

Излучательная способность абсолютно черного тела принимается за единицу, а для всех реальных объектов она лежит в пределах между 0 и 1. Например, излучательная способность воды – 0,92-0,98; почвы: сухой суглинистой – 0,92, влажной – 0,95; растительности: сомкнутого покрова – 0,98, разомкнутого – 0,96; травы – 0,97.

Человеческий глаз воспринимает очень малую часть электромагнитного излучения, называемую видимым диапазоном электромагнитного спектра, который находится в интервале от 0,38 до 0,73 мкм. Приборы дистанционного зондирования, сенсоры могут принимать излучение в существенно более широком диапазоне электромагнитного спектра и таким образом предоставлять колоссальные объемы информации о состоянии окружающей среды. Основная проблема состоит в нахождении соответствующих закономерностей, связывающих данные результатов ДЗЗ с исследуемыми процессами, а также разработке соответствующих алгоритмов, позволяющих получать из соответствующих данных ДЗЗ требуемую информацию [9, 28].

По отношению к источнику энергии все дистанционные методы можно разделить на пассивные и активные. При использовании активных методов спутник посылает на Землю сигнал собственного источника энергии (лазера, радиолокационного передатчика и т. д.) и регистрирует его отражение. Чаще используются пассивные методы дистанционного зондирования, основанные на регистрации отраженной от поверхности объектов солнечной энергии или собственного электромагнитного излучения участков поверхности. При пассивном ДЗЗ из космоса используется участок электромагнитного спектра в диапазоне длин волн от 0,25 мкм до 1 м. Этот широкий участок спектра принято подразделять на ряд диапазонов:

- 0,25-0,4 мкм – ультрафиолетовый;
- 0,4-0,7 мкм – видимый;
- 0,7-1,3 мкм – ближний инфракрасный;
- 1,3-3 мкм – средний инфракрасный;
- 3-1 000 мкм – дальний, или тепловой инфракрасный;
- 1 000 мкм - 1 м – миллиметровый и микроволновый участки радиодиапазона. Этот диапазон используется в пассивных СВЧ (сверхвысокочастотных) системах дистанционного контроля, остальные – в пассивных оптико-электронных и оптико-механических системах.

В сельском хозяйстве данные, полученные в этом диапазоне, используются для оценки влажности поверхностного слоя почвы [29].

Фонд сырых данных и продуктов, полученных на основе ДЗЗ, обширен и включает в себя материалы, полученные в различных диапазонах электромагнитного спектра с разным пространственным разрешением. В табл. 1 представлены технические характеристики и область применения некоторых спутниковых систем, активно используемых для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения [6, 30].

Таблица 1

Системы дистанционного зондирования, используемые для оценки состояния сельскохозяйственных земель

Система ДЗ	Разрешение, м		Область применения
	панхроматический режим	мультиспектральный режим	
1	2	3	4
ALOS	0,8	5	Инвентаризация земель; геометрия/GIS-правовые отношения; тематическая интерпретация/управление землей и урожайностью; точное земледелие/VRT (внесение удобрений); контроль элементов ландшафта; контроль предотвращения эрозии
SPOT	1,5	6	
Cartosat	0,65	2	
WorldView	0,3	1,24	
GeoEye	0,41	1,65	
Ресурс	1	4	Мониторинг состояния сельскохозяйственных земель и их использования; оценка площадей посевов; мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур и пахотных угодий; осуществление контроля хода полевых работ; предоставление данных для оценки урожайности

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
IKONOS	1	4	Классификация типа культур; оценка состояния посевов; оценка урожайности; отображение характеристик почвы; отображение практики обработки почвы (точное земледелие); контроль за соблюдением ведения сельского хозяйства и мониторинг
Deimos	1	4	
RapidEye		6,5	
Landsat	15	30	
Terra/Aster	15	30	

Полученные изображения позволяют определить площади и состояние посевов сельскохозяйственных культур, сделать прогноз урожайности, оценить степень истощения земель, а на основе этого разработать и реализовать планы природно-восстановительных работ, оптимизировать использование земельных ресурсов, удобрений, СЗР и др.

2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Характерным свойством растительности является спектральная отражательная способность, определяемая специфическими характеристиками отражения солнечного излучения в разных диапазонах электромагнитного спектра (ЭМ), зависящими от состояния растений. Закономерности, связывающие структуру и состояние растительного покрова с ее отражательными способностями, позволяют использовать результаты ДЗЗ для идентификации типов землепользования, а также видов и состояния растительности.

За последние годы разработано и используется на практике около 200 так называемых вегетационных индексов (ВИ), которые позволяют связать характерные особенности почвенного покрова, а также роста и развития растительного покрова (в частности, посевов сельскохозяйственных культур) с результатами ДЗЗ в видимом и инфракрасном диапазонах ЭМ спектра.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62-0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75-1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа, т.е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

Вегетационный индекс – это показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) ДДЗ, и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Эффективность ВИ определяется особенностями отражения; эти индексы выведены главным образом эмпири-

чески. Преимуществом вегетационных индексов являются легкость их получения и широкий диапазон решаемых с их помощью задач.

Почти все распространенные вегетационные индексы используют только соотношение красного-ближнего инфракрасного каналов, предполагая, что в ближней инфракрасной области лежит линия открытой почвы. Подразумевается, что эта линия означает нулевое количество растительности [31, 32].

Существует значительное разнообразие вегетационных индексов. Примерами индексов, которые измеряют наклон линий между точкой конвергенции и точкой RED-NIR соотношения в пикселе, являются NDVI, SAVI и RVI. Примерами индексов, которые измеряют перпендикулярное расстояние от почвенной линии до точки RED-NIR в пикселе, являются индексы PVI, WDVI и DVI.

При всем разнообразии большей частью вегетационные индексы работают плохо для территорий с разреженным растительным покровом. Если растительный покров скудный, то спектр снимка в основном зависит от почвы. Почвы могут сильно различаться по отражению, даже если для анализа используются очень широкие спектральные диапазоны. Исследования показали, что почвенный фон сильно влияет на индексы: если он яркий, то значение индекса будет меньше, если темный – больше. Многие фоновые материалы (почва, камни, растительная подстилка) сильно варьируют в красном-ближнем инфракрасном диапазоне, и это может сильно изменить индекс. Для устранения этих проблем эффективно применение анализа спектральных смесей.

Для определенных ВИ существуют свои пороги чувствительности к разреженности растительности (например, нецелесообразно применение индексов RVI, NDVI, IPVI, DVI при растительном покрове менее 30%, SAVI, MSAVI1, MSAVI2, PVI, WDVI, GVI – менее 15% [31]).

Практическое применение нашли 27 вегетационных индексов, основными из которых являются индексы первой группы, определяемые по степени поглощения и отражения широких полос света в ближней инфракрасной области спектра: NDVI, SRI, EVI, ARVI, SGI [33].

Индексы этой группы отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния при решении ши-

рокого круга задач. Они суммируют и отражают обобщенные параметры таких показателей, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации (ФАР) и индексом листовой поверхности. Их можно определить, используя мультиспектральные аэрокосмические аппараты, имеющие спектральные каналы в красной (0,60-0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75-1,3 мкм) зонах, способные передавать снимки высокого и среднего разрешения. Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и не покрытых растительностью, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности.

Разработаны также ВИ «зелености» (NDVI, MRESRI, VOG1 и др.), которые дают представление об общем количестве и состоянии растительности на поверхности земли. Отличие в том, что для расчетов этих индексов учитывается степень отражения световых волн на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм, т. е. рассматривается область ближнего инфракрасного склона спектральной кривой растительности.

Использование значений коэффициентов отражения в узких спектральных зонах позволяет с помощью индексов фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Расчет индексов возможен только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам.

Кроме этого, разработаны ВИ для оценки эффективности использования световой энергии, поглощения азота и синтеза основных органических веществ в растениях, контроля обеспеченности растений водой, а также для мониторинга засухи и др. [33, 34].

Одним из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова, является **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, представляющий собой простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом).

Вегетационный индекс NDVI для растительности принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он

выше. На значения индекса влияют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью.

NDVI часто используется как один из инструментов при проведении более сложных типов анализа, результатом которых могут являться карты продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, карты ландшафтов и природных зон, почвенные, аридные, фитогидрологические, фенологические и другие эколого-климатические карты [35].

Плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленой на сумму их интенсивностей, вычисляется по формуле [31]

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где:

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа, т.е. высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему – в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко разделять и анализировать растительные и прочие природные объекты. Использование не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и др.

Проблема почвенного «шума» наиболее актуальна для территорий с разреженной растительностью. Для них разработаны минимиз-

зирующие влияние почвы методы определения ВИ – SAVI, TSAVI и др. Использование этой группы индексов позволяет уменьшить почвенный «шум», изменяя характер поведения изовегетационных линий, что достигается путем сдвига точки, где встречаются эти линии. Данные индексы снижают почвенный «шум» за счет уменьшения динамического диапазона (dynamic range) индекса. Они немного менее чувствительны к изменению растительного покрова, чем NDVI, но более чувствительны, чем PVI.

Разработаны также индексы, устойчивые к влиянию атмосферы. Воздушная прослойка частично поглощает проходящий через нее свет, а также рассеивает его благодаря взвешенным аэрозолям. Соответственно, изменяется количество света, попадающее на приборы, что может вызвать ошибки в вычислении индексов. Особенно сильно это сказывается на сравнении результатов, полученных в разное время. Использование таких индексов, как GEMI, ARVI и других, позволяет решить эту задачу без применения специальной атмосферной коррекции благодаря снижению чувствительности к влиянию атмосферы за счет уменьшения динамического диапазона. В целом эти индексы менее чувствительны к изменению растительного покрова, чем NDVI. Если растительность невысокая, то они подвержены сильному влиянию почвенного слоя.

Формулы расчета ВИ для оценки и мониторинга состояния растительного покрова, продуктивности и урожайности полей, применяемых значительно реже, чем индекс NDVI, приведены в [31, 35-36] и других источниках.

3. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ

Важная и перспективная область применения технологии ДЗЗ в аграрной сфере – мониторинг сельскохозяйственных культур. К типичным задачам относятся обеспечение текущего контроля за состоянием посевов сельскохозяйственных культур, раннее прогнозирование их урожайности, одновременный мониторинг темпов уборки, определение емкости пастбищ различных типов, продуктивности сенокосов и др. Эти задачи решаются проведением систематических повторных съемок, которые обеспечивают наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности. Используя при дешифрировании информацию об изменении спектральной яркости растительности в течение вегетационного периода и индекс NDVI, можно по тону изображения полей судить об их агротехническом состоянии.

Следует отметить, что текущие результаты мониторинга дают более объективные и точные сведения, когда совмещаются с актуальными и достаточно точными картами сельхозугодий. Сами же задачи мониторинга решаются на этом фоне эффективнее и с существенно меньшими затратами, так как нет необходимости использовать натурные данные для определения границ полей и гораздо легче выделять эталонные участки [8].

Наблюдение за динамикой использования сельскохозяйственных земель является необходимым элементом системы регулирования агропромышленного комплекса. Состояние и динамика использования пахотных земель являются важными при оценке экологических последствий. Изменения в использовании пахотных земель ведут к изменениям микроклимата, ландшафта, влияют на объемы углекислого газа. Забрасывание пахотных земель, имевшее место практически во всех регионах России в последние десятилетия, как правило, сопровождается их деградацией, эрозией, резким снижением плодородия почв, зарастанием древесно-кустарниковой растительностью.

Нерациональное землепользование, связанное с несоблюдением правил сельскохозяйственного севооборота, может приводить к истощению почв, а значит, к длительному снижению плодородия земель. Применение удобрений и ядохимикатов ведет к загрязнению расположенных рядом водных объектов в результате водной эрозии [37].

Обширные территории, занимаемые сельскохозяйственными угодьями, довольно сложно контролировать из-за недостатка точных карт, неразвитой сети пунктов оперативного мониторинга, наземных станций, в том числе метеорологических, отсутствия авиационной поддержки, дороговизны содержания штата и др. Кроме того, в силу различного рода природных процессов происходит постоянное изменение границ посевных площадей, характеристик почв и условий вегетации на различных полях и от участка к участку. Эти факторы препятствуют получению объективной, оперативной информации для оценки текущей ситуации, прогнозирования последствий и планирования необходимых мероприятий по увеличению производства сельскохозяйственной продукции, оптимизации использования земель, прогнозированию урожайности, уменьшению затрат и повышению рентабельности аграрного производства.

Материалы ДЗЗ позволяют решать как комплексные задачи управления сельскохозяйственными территориями, так и специализированные. С помощью спутникового мониторинга возможно контролировать сроки и качество проведения основных агротехнических работ и тем самым оптимизировать управление сельскохозяйственным производством. По снимкам выполняют инвентаризацию и картографирование земельных угодий на основе международной классификации использования земель, а снимки высокого разрешения применяют для создания земельного кадастра (рис. 3) [38].

К первоочередным задачам, которые решаются с помощью данных ДЗЗ в аграрном секторе России, относятся инвентаризация сельхозугодий и создание специальных тематических карт [39]. При инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения выполняются следующие виды работ [40]:

- создание векторной карты полей (рабочих участков);
- обновление векторной карты полей (рабочих участков);

● создание и обновление планово-картографической основы производственных активов сельскохозяйственного предприятия.

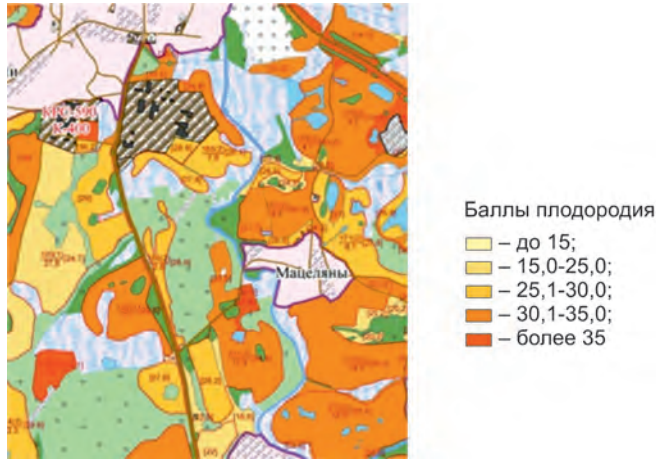

Рис. 3. Пример карты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель

Сельскохозяйственное картографирование с использованием данных ДЗЗ должно обеспечить составление карт трех уровней: административных районов, отдельных хозяйств, отдельных угодий (конкретные поля, пастбища, сенокосы и др.).

Так, в Республике Татарстан разработан пилотный проект геоинформационной системы АПК, базовой основой которой является паспортизация полей с применением технологий дистанционного мониторинга, включающей в себя информацию о природно-хозяйственном состоянии полей, занесенных в базу данных. Реализация системы предусматривает актуализацию паспортов хозяйств, создание агрохимических картограмм, отражающих содержание в почве основных элементов питания и кислотности, привязку паспорта к данным Росреестра.

Подключение сервисов космического мониторинга позволяет осуществлять текущий контроль состояния посевов сельскохозяйственных культур, выполнения агротехнических работ, выявлять неблагоприятные факторы, такие как ветровая и водная эрозия, засуха и др. [41].

Сельскохозяйственные угодья, а также брошенные, засоренные, зарастающие (в том числе лесной растительностью) земли хорошо дешифрируются по текстуре изображения. Наличие большого массива архивных снимков также может оказать существенную помощь при выявлении земель, пришедших в негодность и требующих значительных финансовых вложений для возвращения в оборот.

В настоящее время для инвентаризации сельскохозяйственных земель и создания специальных карт наиболее перспективными с точки зрения соотношения «цена – качество» являются данные со спутника ALOS (Япония). Сенсор PRISM, которым снабжен спутник, в основном и предназначен для картографирования. Каждый из трех объективов сенсора (для визирования вперед, вертикально вниз и назад) обеспечивает пространственное разрешение 2,5 м. Для PRISM характерна не только высокая разрешающая способность, но и достаточно широкая полоса съемки – до 35 км [8].

Съемочная система выделяется высокой точностью позиционирования снимков с использованием только орбитальных данных без выполнения наземных изысканий. Использование RPC (коэффициенты рационального полинома), поставляемых вместе со снимками, позволяет получать пространственную основу с точностью позиционирования не ниже 10 м, что соответствует задачам сельскохозяйственного картографирования в масштабах до 1:25 000.

Оптическая система PRISM, основанная на трех зеркалах, не имеет хроматической аберрации по всему полю обзора и дает четкое изображение, что важно для дешифрирования и определения границ различных видов сельхозугодий и земель. Технология дешифрирования снимков для задач тематического картографирования с применением программного комплекса ENVI (ITT Visual Information Solutions) хорошо отработана специалистами компании «Совзонд», поэтому создание специальных сельскохозяйственных карт, например средней полосы Европейской части России, может занять не более двух месяцев [10].

По снимкам высокого разрешения выполняют оценку состояния посевов – их однородности или пятнистости, связанной с вымерзанием, вымоканием, ветровым полеганием, воздействием вредителей. Связи, установленные между биомассой растительности и ее

спектральной яркостью, обусловливают регулярное составление карт вегетационного индекса для оценки биомассы посевов и пастбищной растительности.

Методы дистанционного зондирования в сельском хозяйстве позволяют осуществлять [9]:

- классификацию типов сельскохозяйственных культур;
- оценку состояния посевов (всхожесть, смена фенофаз, развитие и созревание культур);
- определение областей вымерзания озимых посевов, раннее выявление засухи;
- выделение участков эрозии, заболачивания, засоленности и опустынивания;
- определение областей гибели сельскохозяйственных культур от болезней, насекомых, дефляции, загрязнения пестицидами;
- характеристику и состояние почвы;
- прогнозирование урожая (качественно и количественно);
- учет и инвентаризацию посевных площадей;
- мониторинг состояния пастбищ: степень поражения болезнями и грызунами, зоны нарушения растительности в результате выпаса скота, проективное покрытие травяной растительностью;
- контроль качества и диспетчеризацию своевременности проведения различных сельскохозяйственных мероприятий;
- управление орошением посевов сельскохозяйственных культур;
- анализ эффективности использования поливной воды для орошения посевов сельскохозяйственных культур.

Важным направлением мониторинга земель сельскохозяйственного назначения является разработка подходов по применению спектральных (вегетационных) индексов для автоматизированного картографирования и оценки состояния посевов. На основе применения цифровых спутниковых снимков для картографирования отдельных типов посевов, их биофизических параметров и особенностей развития сезонных значений вегетационных индексов могут быть определены периоды, наилучшим образом позволяющие детектировать и анализировать посевы конкретных сельскохозяйственных культур.

Значения вегетационных индексов (NDVI, EVI), получаемые регулярно с интервалом в 16 дней и распространяемые службой

LPDAAC в виде продуктов MOD13Q1, могут быть использованы для анализа динамики спектральных свойств конкретных полей. Определение сезонных значений NDVI, наиболее информативных для дешифрирования сельскохозяйственных культур, дает возможность по значениям индекса осуществлять разделение посевов культур друг от друга, выполнять мониторинг площадей посевов, анализировать тренды многолетних изменений.

В [42] изучены сезонные значения NDVI для девяти сельскохозяйственных культур: озимой пшеницы, сахарной свеклы, многолетних трав, ячменя, овса, подсолнечника, кукурузы, озимой ржи, выращиваемых в Белгородской области, выявлены сезонные наиболее эффективные значения индекса для автоматизированного дешифрирования и анализа конкретных культур или их групп.

В результате исследований установлено, что наиболее оптимальной является следующая последовательность обработки и анализа посевов сельскохозяйственных культур по значениям NDVI: 1) озимые культуры и многолетние травы; 2) соя, сахарная свекла, подсолнечник, кукуруза; 3) яровой ячмень и овес. При этом культуры каждой предыдущей группы исключаются из пространства изображения, используемого при дешифрировании. Разработанный способ выделения групп агрокультур сводит к минимуму экспертную проверку результатов и анализ данных высокого пространственного разрешения.

Среди задач мониторинга сельскохозяйственных земель выделяются задачи обеспечения текущего контроля за состоянием посевов сельскохозяйственных культур, прогнозирования урожайности, мониторинга темпов уборки урожая, определения продуктивности сенокосов и емкости пастбищ и др. Эти задачи решаются систематическими повторными съемками, которые обеспечивают наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирование урожайности. На основании использования при дешифрировании различия в спектральных яркостях растительности в течение вегетационного периода и индекса NDVI делается вывод об агротехническом состоянии полей.

В отличие от БПЛА, данные дистанционного зондирования (ДДЗ) космического происхождения типа Landsat существуют в

Рис. 4. Landsat 8, 29 мая 2014 г.

Рис. 5. Landsat 8, 29 мая 2014 г. (NDVI)

большом диапазоне сроков. Архив Landsat 5, 7, 8, где пространственное разрешение для спектральных каналов составляет 30 м, содержит кадры ДДЗ с 1984 г. по текущую дату [43]. Бóльшая часть архива содержит облачные кадры не пригодные для расчетов ВИ, остальная часть, как правило, пригодна (рис. 4, 5).

Из рис. 4 видно, что ВИ отражает состояние растительности на момент съемки. Следовательно, разные ВИ хозяйства будут отражать разные культуры и разные сельскохозяйственные приемы. Часть хозяйства не будет охвачена ВИ, так как при открытой поверхности почвы ВИ рассчитать невозможно.

Существует еще одна сложная проблема – тень от облаков. Рассчитать ВИ в области тени невозможно, так как в плане требования к безоблачности кадров ДДЗ БПЛА и космического мониторинга мало отличаются, но ДДЗ космической съемки почти полностью лишены проблем полос, связанных с направлением пролета. NDVI Landsat (рис. 5) вполне однородны и позволяют легко дешифрировать зоны хорошего и плохого состояния вегетации сельскохозяйственных культур.

Сложность применения вегетационного индекса для выдачи рекомендаций по дифференцированной обработке полей связана также с проблемами нормализации кадров данных дистанционного

зондирования, полученных при разных условиях съемки, и высокой динамичностью состояния сельскохозяйственных культур в течение одного вегетационного периода и по годам [44]. Для компенсации недостатков работы с ДДЗ применяют технологию ретроспективного мониторинга, которая разработана на принципах спектральной окрестности линии почв [45].

Анализ множества источников показал, что карты устойчивой внутриполевой неоднородности (УВН), полученные по технологии ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова с использованием десятков разновременных данных дистанционного зондирования со спутников Landsat и Sentinel, являются самыми информативными для целей координатного земледелия [46-48]. При этом ДДЗ используются для вычисления вегетационных индексов NDVI. Попытки использовать текущий NDVI для формирования карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений успеха не имели, и NDVI в основном используется для мониторинга по ДДЗ [49]. На рис. 6 представлена карта УВН. Зоны плодородия окрашены в непрерывную палитру – от синего до красного, где синие цвета соответствуют зонам пониженного плодородия, а красные – повышенного.

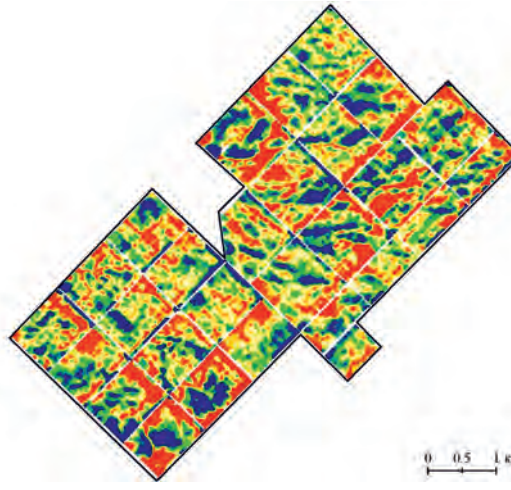

Рис. 6. Карта устойчивой внутриполевой неоднородности

Данная карта получена технологией ретроспективного мониторинга и лишена целой серии недостатков:

- отсутствуют искажения спектральной яркости в виде полос по направлению движения носителя съемочной аппаратуры;
- отсутствует фрагментарность, связанная с агротехническими приемами и севооборотом;
- пространственное разрешение одинаково для всей территории картирования и составляет 30 м;
- отсутствуют искажения, связанные с объектами, не влияющими на внутриполевую неоднородность плодородия (дороги, лесополосы, строения и т.д.).

Одним из показателей окультуренности почв является обеспеченность их подвижным фосфором. Несмотря на то, что фосфор накапливается в верхних почвенных горизонтах, происходит ежегодный вынос этого элемента с урожаем выращиваемых культур из пахотных почв (а также с поверхностным стоком в ближайшие водоемы, которые из-за этого обильно цветут), а возврат фосфора с пожнивными остатками, как правило, недостаточен для восполнения потерь. Признаки дефицита фосфора у растений обнаруживаются при его содержании менее 0.15% на сухую массу, достаточным считается содержание фосфора в диапазоне от 0,20 до 0,75%, чрезмерным или токсичным – более 1% [50].

Прогнозное картографирование содержания фосфора (общего, органического, подвижного) в пахотном горизонте почв осуществлялось с использованием в качестве индикатора значений NDVI, рассчитанных по спутниковому снимку Landsat 8 (разрешение 30 м). Прогнозные картограммы содержания фосфора (общего, подвижного, органического) в почвах составлены с использованием регрессионных моделей. В качестве предиктора использовали NDVI посевов овсяно-гороховой смеси, который, как показали исследования, могут оказывать влияние на варьирование параметров растительности и опосредованно на значения NDVI. Поэтому его можно использовать в качестве внешнего индикатора свойств почв при их картографировании.

Материалы ДЗЗ являются основой рационального землепользования, которое усиливает экологические аспекты в использовании земли, предусматривает переход на адаптивно-ландшафтное земледелие,

требующие обеспечения достоверной исходной информацией, получаемой на этапе разработки внутрихозяйственных и межхозяйственных проектов землеустройства. В числе ведущих поставщиков данных дистанционного зондирования Земли, востребованных на рынке, – спутниковые системы США, Франции, Японии, Китая, Индии, Израиля, Германии и других стран, а также российский космический аппарат «Канопус-В» (табл. 2), который предназначен для обеспечения оперативной информацией Минсельхоза России, Минприроды России, Росгидромета, РАН и других заинтересованных ведомств.

Таблица 2

Характеристики съемочной аппаратуры космического аппарата «Канопус-В»

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,52-0,85	0,054-0,60 (зеленый) 0,63-0,69; 0,6-0,72 (красный) 0,75-0,86 (ближний ИК)
Пространственное разрешение, м	2,1	10,5
Ширина полосы обзора, км	Более 20 (при высоте 510 км)	
Периодичность съемки	5 суток	

В США получение данных ДЗЗ активно развивается, прежде всего в секторе сверхвысокого разрешения (компании «Digital Globe» и «GeoEye»). Именно им принадлежат космические аппараты марок WorldView-1 (разрешение 50 см), WorldView-2 (46 см), QuickBird (61 см), GeoEye-1(41 см) и IKONOS (1 м), из них наиболее востребованы снимки с аппарата WorldView-2 [51].

Обобщение информации о данных ДЗЗ позволяет сделать следующие выводы о применении космических снимков в разработке внутрихозяйственных и межхозяйственных проектов землеустройства:

- космическая съемка является неотъемлемой частью для создания картографического материала при разработке проектов землеустройства;
- данные дистанционного зондирования Земли являются достоверными и показывают реальную картину состояния земель на исследуемой территории;

• выбор используемых материалов космической съемки в основном зависит от поставленных задач и условной сметы на выполнение инженерных изысканий;

• применение материалов космической съемки позволяет минимизировать затраты на полевые изыскания путем выявления ключевых участков за счет создания качественного картографического материала для интерполяции данных на местность;

• качественно созданный картографический материал является платформой для рационального использования имеющихся земельных ресурсов с извлечением максимальной выгоды из естественного плодородия земли.

Необходимо отметить, что система мониторинга ЗСН предусматривает периодический сбор наземной информации по определению и корректировке границ и площади сельскохозяйственных угодий, которая может быть реализована с использованием глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, Galileo, Beydou и др. с точностью 5-15 см. Действующие требования по определению контуров сельскохозяйственных угодий предусматривают погрешность определения местоположения характерных точек границ участков ЗСН с точностью ±2,5% [52].

Рис. 7. Общий вид приемника StarFire 3000

Для актуализации площади полей представляет интерес специальный аппаратно-программный комплекс, разработанный в Инженерном центре «Геомир», состоящий из высокоточного GPS-приемника StarFire 3000 (рис. 7) и программного обеспечения «ГеоУчетчик», которые подключаются к специальному ноутбуку [53]. В зависимости от используемого оборудования GPS-приемник может работать с точностью 2-40 см.

Разработанный комплекс обеспечивает высокую точность определения границ (погрешность до 0,5 м) и площади (до 0,2%) полей, а также решение следующих задач:

- отображение на карте местности текущих координат в реальном времени;
- передача данных на стационарный компьютер для последующей обработки данных;
- коррекция ранее созданных карт полей, их границ;
- создание карт полей в растровой и векторной формах;
- измерение по карте расстояний и площадей полей и др.

Пример созданной электронной карты тестового полигона КубНИИТиМ по результатам наземного измерения площадей полей приведен на рис. 8.

Рис. 8. Электронная карта тестового полигона КубНИИТиМ

Проведенные сравнительные экспериментальные исследования показали, что наиболее точным методом определения площадей полей является использование аппаратно-программного комплекса «ГЕО-Учетчик» [54]. Данный метод учитывает площади любых объектов, находящихся внутри поля: дорог, столбов и других, что позволяет получить корректную фактическую площадь поля по GPS-данным.

Комплекс рекомендуется использовать для определения контуров полей при планировании сельскохозяйственного производства и внедрении систем точного земледелия.

4. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ

Достоверная и своевременная информация о состоянии посевов и почвенного покрова, оценка качества и количества будущего урожая и, как следствие, прогноз цен на аграрную продукцию оказывают существенное влияние как на экономику отдельного региона, так и на мировую торговлю в целом.

При планировании и регулировании рынков сельскохозяйственных культур, а также реализации экспортно-импортных операций большое значение имеет показатель урожайности как критерий эффективности сельскохозяйственного производства. Среди формализованных методов объективной оценки и прогнозирования показателя урожайности выделяются методы с использованием данных ДЗЗ [55]. Разработано также значительное количество методов и цифровых моделей прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур без использования таких данных (например, [56-59], которые в настоящей работе не рассматриваются.

Многочисленные исследования показали, что многие структурные и биохимические изменения растений в течение вегетационного периода проявляются в спектрах отражения ими солнечного излучения, регистрируемых цифровыми сенсорами, расположенными на платформе. Результаты этих исследований составляют физическую основу аэрокосмического мониторинга посевов сельскохозяйственных культур. Измеряемые характеристики отражения растительных покровов представляются либо в виде безразмерных вегетационных индексов (NDVI, EVI и др.), либо в виде параметров моделей переноса излучения (листовой индекс (LAI), доли поглощаемой солнечной радиации в фотосинтетически активной области спектра (FAPAR) и др.).

При спутниковом мониторинге состояния и развития посевов проводятся [60]:

- оценка состояния сельскохозяйственных культур на различных стадиях вегетации (всхожесть, текущее состояние, созревание зерновых культур);

- мониторинг темпов уборки сельскохозяйственных культур;
- выявление фактов негативного природного, техногенного и антропогенного воздействия на сельскохозяйственную растительность (засуха, вымокание, заморозки, вредители и др.);
- обнаружение полей, имеющих отклонения от норм развития, их оценка и систематизация (в том числе выявление фактов заболеваемости сельскохозяйственных культур):
- мониторинг составляющих суммарного испарения;
- оценка водного стресса, стресса питательного режима.

Важно отметить, что одной из основных особенностей спутникового мониторинга состояния посевов является необходимость выполнения двух условий: высокое пространственное и временное разрешение измерений. Высокое пространственное разрешение обеспечивает наблюдение за небольшими участками поля с возможностью оценки состояния посевов. Временное разрешение обеспечивает как мониторинг динамики роста и развития растений в течение одного вегетационного периода, так и сравнение и анализ данных NDVI вегетационных сезонов за несколько лет. К основным преимуществам использования данных ДЗЗ относят высокую достоверность и оптимальную периодичность получения информации, широкий охват исследуемой территории, получение данных в едином стандартизированном виде.

Изменение спектральной яркости растительности в течение вегетационного периода с учетом сельскохозяйственного календаря для разных культур позволяет по тону изображения полей судить об их агротехническом состоянии и составе культур, что делает снимки объективным источником сельскохозяйственной статистики. Выявление площадей, занятых основными продовольственными культурами, и оценка динамики их развития с учетом метеорологических условий определяют возможность использования космической информации для прогноза урожайности.

Исследования показывают, что если состояние растительности хорошее на протяжении всего периода роста, то вероятность получить хороший урожай увеличивается. Если в какой-либо промежуток произрастания состояние растительности отклонилось в сторону ухудшения, то вероятность получить хороший урожай уменьшается.

С развитием технологий дистанционного зондирования земель из космоса появилась возможность проводить мониторинг состояния посевов на обширных территориях оперативно и с минимальными финансовыми затратами.

Определяющим индикатором сельскохозяйственной культуры и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся широким диапазоном отражения излучения разных длин волн. С развитием средств спутниковых измерений и расширением группировки спутников ДЗЗ стало возможным решение самых разнообразных задач в области сельского хозяйства, в том числе оценка состояния посевов и прогнозирование урожайности.

По данным многочисленных исследований, по индексу NDVI с высокой достоверностью можно прогнозировать урожайность посевов при условии отсутствия на последующий период неблагоприятных метеоусловий. Вегетационный индекс NDVI изменяется весь сезон, и его значения различны во время роста, цветения и созревания растений. В начале вегетационного сезона индекс нарастает, во время цветения его рост останавливается, затем, по мере созревания, NDVI снижается. В зависимости от почвенного плодородия, метеоусловий и технологии возделывания посевов скорость развития биомассы будет разной. Поэтому по среднему значению NDVI на поле легко сравнивать состояние посевов во время вегетации: на одних полях посевы развиваются быстрее (лучше), на других – медленнее (хуже).

Наиболее точный прогноз урожайности посевов по индексу NDVI можно дать в момент прохождения пика его значения. Например, по данным Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, для посевов озимой пшеницы при возделывании по интенсивной технологии значение NDVI во время пика достигает 0,80-0,88 (обычно он приходится на начало фазы колошения) [61].

NDVI связан с зеленой биомассой растений, а урожайность – это некая (известная для каждой культуры) процентная часть биомассы. Зная потенциальную урожайность сорта, можно прогнозировать, что при таком значении индекса урожайность будет максимальной для данного сорта. Если в фазу колошения индекс достигает значе-

ния всего 0,60-0,65, то это значит, что урожайность будет ниже максимальной на 25-30%.

Таким образом, для прогнозирования урожайности необходимо знать максимальную потенциальную урожайность данного сорта и показатель NDVI посева в фазе колошения (для зерновых) или максимального развития листьев (для всех остальных культур).

При прогнозировании урожайности используются спутниковые данные, позволяющие анализировать состояние посевов на больших территориях. Работы по оценке урожайности ведутся в основном по трем направлениям: оценка урожайности по году-аналогу, с использованием регрессионного анализа на основе дистанционных и метеорологических наблюдений и на основе имитационного моделирования [55, 62]. Такие исследования проводятся в Институте космических исследований в рамках создания Системы дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса.

При прогнозе по году-аналогу считается, что если посевы сельскохозяйственных культур в текущем году развиваются так же, как в одном из прошлых сезонов, то урожайность должна быть близка к урожайности этого года-аналога. При оценке схожести развития посевов используются спутниковые данные.

При использовании регрессионного метода для прогнозирования урожайности строится зависимость значений урожайности по данным Росстата за прошлые годы с различными предикторами, получаемыми на основе спутниковых данных, в качестве которых используются вегетационный индекс NDVI, рассчитанный по данным приборов SPOT-VEGETATION (спутники SPOT) и MODIS (спутники Terran Agua), метеоданных о температуре и осадках, карт пахотных земель и посевов.

Третий метод прогнозирования урожайности основан на моделировании ежедневного прироста биомассы растений с начала вегетационного периода. Этот метод позволяет оценить урожайность заблаговременно, в середине сезона вегетации, и может рассматриваться как средство независимого контроля статистической информации, поступающей с мест и позволяющей получить прогнозные оценки урожайности для отдельных полей. Однако этот метод требует большого объема полевых данных для калибровки применяемых моделей [55].

Основную сложность представляет прогноз отклонения урожайности от тренда, которое определяется большим числом метеорологических факторов. Учет их влияния на формирование урожая и является главной задачей методов агрометеорологических прогнозов [63].

В [64] изложен предлагаемый метод прогнозирования урожайности почв на основе многоспектральных космических изображений и результатов вычислительного эксперимента по прогнозированию урожайности различных сельскохозяйственных культур для различных областей. В результате исследований определена наиболее точная модель плодородия почв, принимающая значения вегетационных индексов за пять месяцев (с марта по июль текущего года), дана оценка точности осуществляемого прогноза и возможности расширения области применения полученной модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Предлагаемый метод прогнозирования основан на следующих принципах. Урожай определенной культуры на заданной территории должен достаточно достоверно предсказываться функцией, параметрами которой являются усредненные (по этой территории) значения вегетационного индекса в течение роста и созревания сельскохозяйственной культуры. При этом, чем полнее история изменения индекса, тем точнее можно предсказывать урожай. Соответственно, чем отдаленнее период измерения индекса от момента созревания культуры, тем меньше будет предикативная сила модели.

Результаты проведенных вычислительных экспериментов продемонстрировали возможность прогнозирования урожайности по многоспектральным космическим изображениям с использованием реальных статистических данных по урожайности для различных сельскохозяйственных культур и разных областей страны.

Настройка разработанных четырех моделей прогнозирования урожайности для трех групп культур (пшеница, картофель, овощи) показала, что ошибки прогнозирования для рассмотренных моделей (среднеквадратическое отклонение) составляют 10-30%. Наилучшие результаты (10%) из всех рассмотренных моделей показывает трендовая модель урожайности с мультипликативной поправкой для областей.

Анализ показывает, что наиболее надежные прогнозы урожаев составляются на основе моделирования биопродуктивности растений с учетом основных физических и биологических процессов в системе «почва-растение-атмосфера» (фотосинтез, дыхание, рост и отмирание органов, приток углерода в почву, почвенное дыхание и др.) [63, 65].

Настройка моделей биопродуктивности предполагает сравнение результатов моделирования с натурными данными в границах каждого поля и подбор ряда эмпирических констант. Такие модели обладают наибольшей универсальностью и детальностью учета метеорологических условий формирования урожая, однако требуют задания большого количества метеорологических и агрохимических характеристик, контроль которых для каждого поля является трудновыполнимой задачей.

В работе [63] описывается метод прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе ДЗЗ и наземной метеорологической информации, использующий принципы построения корреляционных масок под конкретные культуры и моделирование их биопродуктивности на основе уравнения Монтейта с регионально адаптированными параметрами.

При этом делается предположение, что фитомасса урожая пропорциональна общей биомассе, накопленной с начала вегетационного периода. Прирост биомассы рассчитывается с суточным разрешением с учетом потока солнечной радиации на уровне подстилающей поверхности, температуры и влажности воздуха, осадков и почвы. Учитывая практические сложности получения информации о потоке солнечной радиации и влажности почвы, они рассчитываются с использованием аналитических параметров, полученных на основе данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды.

Коэффициент корреляции между рассчитанными значениями урожайности яровой пшеницы и данными официальной статистики составляет 0.84, что свидетельствует о применимости разработанной модели для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием доступных данных официальной статистки, реанализа Era-Interim и спутниковых измерений NDVI прибором MODIS.

Заслуживает внимания методика оценки урожайности посевов сельскохозяйственных культур на основе использования хлорофиллного фотосинтетического потенциала (ХФСП), вычисляемого по спутниковым данным [66].

При разработке метода расчета значений ХФСП учитывались особенности расчета ХФСП (S) по наземным спектрофотометрическим данным [67], а также особенности спектральных диапазонов спутников Landsat 7 ETM+ и Terra/MODIS. При использовании информации, полученной со спутника Terra/MODIS, используются данные зеленого (545-565 нм), красного (620-670 нм) и ближнего инфракрасного (841-876 нм) каналов; со спутника Landsat 7 ETM+ – данные зеленого (525-625 нм), красного (630-690 нм) и ближнего инфракрасного (750-900 нм) каналов.

Проведенные исследования показали, что величина значений ХФСП, рассчитанная по данным спутниковой информации Terra/MODIS, отражает степень засоренности культур, а рассчитанная по данным Landsat 7 ETM+ является индикатором урожайности сельскохозяйственных культур на исследуемых территориях. С помощью величины ХФСП, рассчитанного на основе спутниковой информации Landsat 7 ETM+, возможно также разделение посевов по видовому составу. Полученные спутниковые данные хорошо согласуются с наземными наблюдениями.

Практический опыт и методические подходы использования прогнозов урожайности при обосновании структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур, базирующиеся на учете трехлетней и четырехлетней цикличности динамики урожаев зерновых культур, примененные в учхозе «Кубань» при апробации модели по данным за 2012-2018 гг., показали их приемлемость как инструмента обеспечения минимальной ошибки прогноза урожайности озимых пшеницы и ячменя, риса и подсолнечника. Менее удачны были прогнозы по овсу и сое, а по кукурузе на зерно результаты были неудовлетворительными [68].

Для построения прогнозной модели используется вегетационный индекс NDVI, имеющий высокую корреляцию с урожайностью сельскохозяйственных культур. В регрессионную модель чаще всего включаются максимальное значение динамического ряда NDVI

и интегрированные показатели, характеризующие климатические условия территории.

Однако применение в модели фактического максимума NDVI снижает возможность раннего прогнозирования и, соответственно, практическую значимость прогноза для сельского хозяйства.

Поэтому значительный интерес представляет разработка методических подходов раннего прогнозирования урожайности, выполненная сотрудниками Дальневосточного НИИ сельского хозяйства и Вычислительного центра ДВО РАН, входящих в состав Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН [69].

Методика базируется на анализе данных многолетних метеорологических наблюдений и дистанционного зондирования Земли, преимущество которых обусловлено снижением трудозатрат на мониторинг состояния отдельных полей в течение вегетационного сезона, а также оперативностью получения необходимых данных.

При разработке метода создан набор вспомогательных алгоритмов. В основу многофакторной модели, апробированной на полях отдельных муниципальных образований регионов Дальнего Востока, легли данные многолетних спутниковых наблюдений, полученные и обработанные с использованием ресурсов центров коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» и «Центр данных ДВО РАН».

При разработке алгоритма изучалась ежегодная динамика вегетационных индексов отдельных культур на экспериментальных полях ДВНИИСХ, расположенных вблизи г. Хабаровска, в период с 2014 по 2019 г. С использованием данных по опытным полям разработчиками была построена тестовая модель, которая впоследствии экстраполирована на пахотные земли муниципальных образований всего региона.

Преимущество метода – возможность раннего прогнозирования урожайности сои. В отличие от метода прогнозирования, базирующегося на формировании прогноза только тогда, когда значения вегетационного индекса достигают максимума (для Дальнего Востока – первая декада августа), предложенный подход позволил сдвинуть сроки прогнозирования урожайности сои практически на месяц без критического снижения точности прогноза.

Разработанная методика является достаточно универсальной и может применяться для прогнозирования урожайности сои на уров-

не субъектов федерации, муниципальных образований, а также отдельных хозяйств. Она была апробирована в разных муниципальных районах Хабаровского края, Амурской области, Приморского края, а также Еврейской автономной области. Ошибка прогноза урожайности сои при раннем прогнозировании находилась в диапазоне 5-12% для разных районов, что соответствует достаточно высокой точности разработанной модели прогнозирования урожайности.

В общем виде разработанный подход к прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур на уровне региона можно представить схемой (рис. 9).

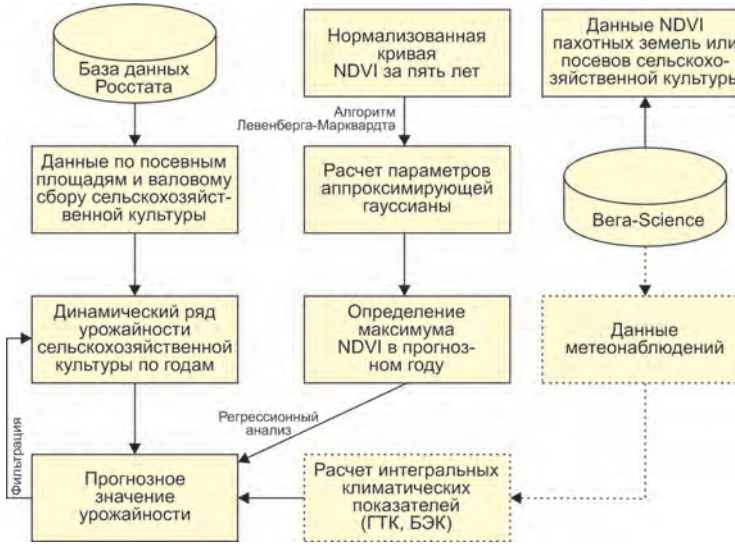

Рис. 9. Общая схема прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на уровне региона

На первом этапе формируется динамический ряд урожайности культуры в исследуемом регионе за предшествующий многолетний период. Для расчетов значений динамического ряда используются данные по посевным площадям и валовому сбору культуры в регионе. В качестве источников данных могут быть использованы базы данных федерального и региональных подразделений Росстата, департаментов сельско-

го хозяйства разных уровней, а также специально разработанные программные продукты. В случае неоднородности сформированного ряда дополнительно проводятся верификация и фильтрация данных.

На втором этапе для выбранных территорий с использованием системы Вега-Science формируются динамические ряды значений NDVI по маске пахотных полей или по маске соответствующей сельскохозяйственной культуры. По ежегодным значениям семидневных композитов NDVI рассчитываются нормализованные значения индекса за пятилетний период. Для нормализованных значений кривой с помощью алгоритма Левенберга-Марквардта проводится расчет параметров аппроксимационной функции Гаусса. С использованием гауссианы по известным значениям NDVI с разной степенью точности определяется максимум NDVI текущего года.

Окончательно для прогнозирования урожайности строится регрессионная модель. В случае моделирования с интегральными климатическими показателями исходные метеоданные могут быть также получены с использованием системы Вега-Science.

Применение аппроксимирующей функции для прогнозирования годового максимума NDVI по маске пахотных земель в Тамбовском районе Амурской области показало хорошие результаты: средняя абсолютная ошибка прогноза в зависимости от недели прогнозирования находилась в диапазоне от 0,6 до 6,7% в моделируемом периоде (2009-2017 гг.).

Дальнейшее развитие исследований в этом направлении с анализом NDVI по маске разных сельскохозяйственных культур позволит осуществлять прогнозирование урожайности на более раннем этапе и даст возможность не только корректировки планов, но и выполнения ряда мероприятий по повышению урожайности, таких как внесение удобрений и др. На следующем этапе исследований планируется разработать интерфейс для интеграции разработанных программных модулей Python с системой Вега-Science, а также автоматизацию и обеспечение возможности использования программного продукта непосредственно специалистами в области сельского хозяйства. Результаты исследования могут быть востребованы как отдельными фермерскими организациями, так и департаментами сельского хозяйства разного уровня [70].

5. ПРИМЕНЕНИЕ ДЗЗ В СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Развитие цифровых технологий и получение широкого доступа к использованию систем глобального позиционирования и географических информационных систем (ГИС) на базе космических, авиационных и наземных данных привели к появлению новой концепции, получившей название «точное земледелие» или «координатное земледелие».

В системе точного земледелия (ТЗ) каждый отдельный георефернцированный контур поля связан со слоями характеристик рельефа, почвенного покрова, плодородия, растительного состава. При этом точность привязки определяется точностью использованной для георефернцирования (координатной привязки) системы ГНСС [71].

Основу точного земледелия составляют цифровые технологии, специализированная сельскохозяйственная техника и оборудование, программное обеспечение, позволяющие определять состояние и динамику развития растительного покрова земельных участков, оценивать плодородие почвы, на основе которого создаются электронные карты для дифференцированного полива, внесения удобрений и средств защиты растений, а также измерять вегетационные индексы для оценки и прогнозирования урожайности, разрабатывать меры по повышению эффективности использования земельных ресурсов [72, 73-75].

Важной составляющей технологии точного земледелия являются своевременное обнаружение и локализация участков угнетенного состояния растительности в пределах поля, что может быть вызвано разными факторами: поражением растений вредителями, засильем сорняков и т.д.

Для успешного применения в ТЗ системы дистанционного зондирования должны отвечать следующим условиям [76]:

- возможность осуществления сбора данных, их коррекции и первичной обработки в течение 24-48 ч;
- пространственное разрешение порядка 5 м для спектрозональной съемки;

• спектральное разрешение порядка 10-20 нм для повышения точности определения биофизических параметров растительного покрова;

• высокое временное разрешение, обеспечивающее по крайней мере 5-6 сеансов получения информации в течение вегетационного периода;

• возможность предоставления результатов тематической интерпретации данных в доступных пользователю форматах;

• невысокая (доступная) стоимость данных.

Необходимо отметить, что качество получаемых снимков с использованием космических аппаратов (разрешение) в ряде случаев недостаточно для эффективного их использования при решении задач точного земледелия. Это обусловлено, в первую очередь, погодными условиями (облачность), негативным влиянием других атмосферных явлений. Кроме того, оперативность получения спутниковых снимков недостаточна для принятия своевременных решений. Поэтому перед учеными стоит задача совершенствования методов дистанционного зондирования с целью преодоления перечисленных недостатков.

Этим условиям в полной мере отвечают данные с космического аппарата Formosat-2 космического агентства Тайваня NSPO (National Space Organization), группировка из пяти мини-спутников RapidEye (Германия), спутники с оптико-электронными системами сверхвысокого разрешения (WorldView-1 и GeoEye-1), уникальные многофункциональные космические аппараты (ALOS), группировки спутников с радиолокаторами высокого и сверхвысокого разрешения (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-2) [14, 76].

К ключевым элементам точного земледелия, которые находят практическое применение, относятся: глобальная система определения координат со спутников с непосредственным вводом информации в бортовой компьютер сельскохозяйственных машин; географические информационные системы; многослойные электронные карты, с помощью которых создается компьютерная модель хозяйства, позволяющая оперативно производить расчеты, формировать отчеты и задания, ставить виртуальные эксперименты для принятия оптимальных управленческих решений; автоматическое вождение сельскохозяйственных агрегатов на базе навигационных спутниковых систем, обе-

спечивающих точность технологических операций (посев, обработка, уборка) с учетом особенности рельефа и др.; оценка состояния почвы и растительного покрова каждого конкретного участка поля с использованием специального оборудования [77].

В технологии точного земледелия используются [72]:

- глобальная навигационная спутниковая система, позволяющая с помощью установленных на мобильное средство специальных GPS-приемников определять местоположение, скорость и расстояние до эксплуатируемой техники;
- географические информационные системы, предназначенные для решения научных и прикладных задач анализа данных наземной и космической съемки, инвентаризации и оценки окружающей среды и обеспечивающие сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно координированных данных;
- программное обеспечение для анализа собранной информации и принятия производственных решений;
- программное обеспечение для создания электронных карт полей путем наземных измерений или с помощью беспилотных летательных аппаратов, аэро- или космической съемки;
- уборочные агрегаты, оснащенные специальным оборудованием, предназначенным для определения урожайности на участках поля с обязательной географической привязкой полученных данных;
- технические и программные средства для составления технологических карт дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений.

Точное земледелие включает в себя множество составляющих, их условно можно разбить на три группы: первая – сбор информации о хозяйстве, поле, культуре, регионе; вторая – анализ информации и принятие решений; третья – выполнение решений, проведение агротехнологических операций.

Для сбора информации (первая группа) используются почвенные автоматические пробоотборники, оснащенные GPS-приемниками и бортовыми компьютерами; геоинформационные системы (ГИС) для составления пространственных тематически ориентированных электронных карт посевов; картограммы влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы; карты урожайности культур, получаемые сразу

после уборки; дистанционные методы зондирования, такие как аэрофотосъемка и спутниковые снимки.

Для анализа собранной информации и принятия производственных решений (вторая группа) используется ряд зарубежных и отечественных программных продуктов. Большинство из них – программы расчета доз удобрений с элементами геоинформационных систем, например Agro-Map, Агроменеджер, УрожайАгро, FieldRover II, Agro View и др. [72, 78].

Активно внедряются технологии ДЗЗ и в зарубежной практике. Так, по отзывам специалистов, подходы к точному земледелию, разрабатываемые компанией «Black Bridge», приносят пользу быстро развивающемуся рынку агрономического консультирования и планирования [79]. Консультанты получают лучший доступ к спутниковым снимкам, облачным решениям для хранения данных и вычислительной мощности, которые нужны для создания актуальных информационных продуктов. Информация, извлекаемая из космической съемки, позволяет фермерам принимать более взвешенные управленческие решения и оптимизировать использование своих ресурсов. Результатом являются меньшая себестоимость продукции, более высокая урожайность и увеличение прибыли. Использование материалов космической съемки высокого пространственного разрешения, получаемые со спутников RapidEye, дополняет традиционные методы сбора информации, предоставляя данные на больших территориях с меньшими финансовыми затратами.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства подходы к точному земледелию компании «Black Bridge» широко используются и распространяются в мире вместе с программами мониторинга, работающими в Бразилии, Мексике, Великобритании и Австралии, и новыми программами, стартующими в России и Болгарии. По оценке Агрофизического НИИ Санкт-Петербурга, в странах Евросоюза технологии точного земледелия или отдельные их элементы применяют около 80% фермеров, в США – 60%. Значительные успехи имеются в сельском хозяйстве Бразилии, Дании, Японии, Аргентины [80].

Отечественные сельхозпроизводители также внедряют технологии точного земледелия и его элементы. Например, специалисты компании «Агроко» на полях Центрального Черноземья использу-

ют картирование, спутниковые технологии по определению NDVI-индекса для прогнозирования урожайности, системы спутникового мониторинга для контроля работы сельхозтехники [72].

Активно осваивает технологии точного земледелия агрофирма «Прогресс» (Краснодарский край), которая начала с освоения автопилотов на тракторах и опрыскивателях (точность до 2,5 см). В последние годы агрофирма внедрила дифференцированное внесение удобрений. ООО «Волгоградская АгроПромышленная компания» внедряет точное спутниковое позиционирование для параллельного вождения и контроля техники, сбор статистики по условиям работ на полях для анализа зон обработки по критериям скорости и времени, а также беспилотную съемку участков пашни для оценки вегетации. В числе преимуществ используемых предприятием технологий – контроль и наличие собранной статистики об условиях работ на полях, что в дальнейшем позволяет принимать решения по оптимизации: корректировать графики работ, оценивать эффективность работы сотрудников, снижать потери ГСМ [72].

Внедрение технологий точного земледелия в Меньковском филиале Агрофизического НИИ в Ленинградской области показал, что они позволяют увеличить урожайность пшеницы II класса до 60-70 ц/га, картофеля – до 600-650 ц/га. При этом экономия удобрений и средств защиты растений в среднем за пять лет составила порядка 35%. В других хозяйствах Ленинградской области, применяющих элементы технологий точного земледелия, также есть существенные результаты, например урожайность моркови повысилась на 21%, капусты на 28%. При этом значительно улучшилось качество продукции [72, 81].

Согласно данным статистических исследований НТЦ «РобоПРОБ» в России площадь пашни, обрабатываемой с использованием оборудования, оснащенного системами точного земледелия, ежегодно увеличивается на 3,5%, в то время как в мире этот показатель превышает 5% [80].

Разрабатываемая учеными Томского государственного университета (ТГУ) система базируется на современных информационных технологиях для решения фундаментальной задачи разработки высокопроизводительной информационной системы для раннего прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур с ис-

пользованием технологии больших данных и нейросетевого подхода, оперирует данными измерений, нормативно-правовыми справочниками, содержащими значения выбранных критериев для определенных сельскохозяйственных культур и производственных процессов. Результаты модельных расчетов накладываются на ландшафтные карты и картограммы специального назначения (карты растительности или карты агропроизводственной группировки, т.е. уже на этапе планирования деятельности сельхозпроизводитель обеспечивается надежным, доступным и удобным инструментарием для получения информации об основных факторах, от которых зависит конечный результат. Методика практико-ориентированного воздействия разрабатывается системой точного земледелия, которая представляет собой реализуемую систему управления землями сельскохозяйственного назначения, применения удобрений и систему защиты растений, основанную на негенерализованных результатах адаптированного почвенно-агрохимического обследования, данных дистанционного зондирования физиологического и фитосанитарного состояния посевов, а также актуальных агроклиматических показателях.

Разрабатываемая система способна обеспечить управление технологическими процессами с высокой экономической эффективностью – расходы на удобрения снижаются до 40%, на средства защиты растений – до 30, урожайность повышается до 50% [82].

В работе [83] на основе анализа существующих типовых подходов к оценке внутриполевой изменчивости обосновывается целесообразность поиска новых, более точных и недорогих методов решения задачи количественной оценки степени неоднородности указанных условий и определения границ их изменчивости на заданном сельскохозяйственном поле. В информационном обеспечении точного земледелия нет альтернативы технологиям дистанционного зондирования Земли. Предлагаемый новый метод обнаружения внутриполевой неоднородности основан на использовании оптических критериев (индексы отражения), характеризующих особенности спектральных показателей посева при воздействии различных стрессоров. В регулируемых условиях с помощью специального спектрометра получены конкретный перечень индексов отражения и набор количественных показателей по каждому критерию для

оценки физиологического состояния пшеницы при оптимальных условиях и дефиците азота и воды. Полученные результаты открывают новые возможности для автоматизации процесса интерпретации гиперспектральных космических снимков с целью идентификации и выявления границ негативного воздействия стрессоров, сдерживающих рост и развитие посевов. Рассмотрена соответствующая алгоритмическая схема реализации предложенного метода.

Учитывая сложность использования вегетационных индексов для разработки рекомендаций по дифференцированной обработке полей, совершенствуются методы создания карт заданий, содержащих информацию о необходимости неоднородного воздействия на почвенный покров внутри поля. Используя технологию ретроспективного мониторинга, можно устранить недостатки работы с ДДЗ и получить наиболее адекватные карты-задания по сравнению с архивными почвенными и агрохимическими картами [84, 85].

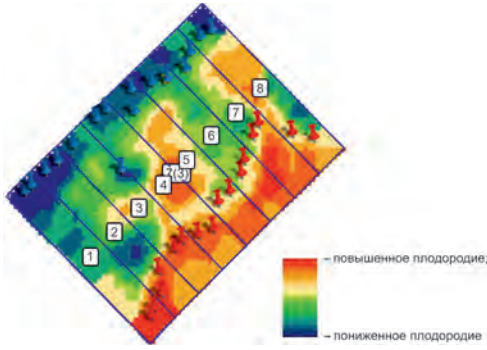

Рис. 10. Карта устойчивой внутриполевой неоднородности опытного поля 7/3 валидационного полигона КубНИИТиМ

С помощью метода ретроспективного мониторинга создана электронная карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия поля 7/3 валидационного полигона КубНИИТиМ (рис. 10), на основе которой разработали цифровые карты-задания для закладки полевого опыта по дифференцированному внесению минеральных удобрений на озимой пшенице.

По результатам экспериментальных исследований, установлено следующее [85]:

- озимая пшеница по-разному отзывается на различные дозы удобрений по зонам карты устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв, полученной анализом больших спутниковых данных;

- при увеличении общей дозы минеральных удобрений до 600 кг/га в зонах низкого и высокого плодородия карты устойчивой внутриполевой неоднородности прибавка урожайности составила порядка 15%, что свидетельствует о том, что карта устойчивой внутриполевой неоднородности может быть интерпретирована как карта отзывчивости озимой пшеницы на удобрения;
- на основе карты устойчивой внутриполевой неоднородности почвенного покрова можно увеличить эффективность применения азотных удобрений путем перераспределения имеющихся хозяйственных доз удобрений внутри поля в виде карт-заданий для техники, оборудованной системами точного земледелия.

Ведущее место в технологиях точного земледелия занимают сбор, обработка и хранение данных об урожайности и влажности зерна в процессе комбайновой уборки.

Оборудование для этих целей включает в себя различные датчики (оптический датчик объема зерна в бункере, датчики влажности зерна, поперечных и продольных отклонений и др.) Их применение дает возможность определять урожайность и влажность зерна с единицы площади с учетом местоположения комбайна и неровностей поля. Специальные ГИС-программы осуществляют не только обработку полученной информации и построение карт урожайности, но и способны осуществлять подготовку подробных отчетов о выполняемых на данном поле сельскохозяйственных работ. Эти отчеты необходимы специалистам сельскохозяйственных предприятий для оценки рентабельности использования конкретных сельскохозяйственных земель, выработки решений по повышению урожайности сельскохозяйственных культур, планированию и использованию земель в будущем [71, 86-90].

Таким образом, использование комплекса технических и программных средств для точного земледелия позволяет специалистам принимать обоснованные решения, приводит к экономии удобрений, средств защиты растений, топливно-смазочных материалов и в итоге – приводит к повышению эффективности использования земель СХН, снижению себестоимости продукции, росту производительности и повышению эффективности сельского хозяйства.

6. ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Цифровые технологии оценки и планирования использования земель сельскохозяйственного назначения, как отмечалось выше, базируются на системах глобального позиционирования и географических информационных системах.

Глобальные навигационные спутниковые система (ГНСС) предназначены для определения пространственных координат, составляющих вектора скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения поправки показаний часов потребителя ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства [91].

В настоящее время самой развернутой системой спутникового позиционирования является американская система GPS NAVSTAR, которая обеспечивает предоставление услуг в глобальном масштабе. В составе орбитальной группировки GPS в штатном режиме используется 31 навигационный спутник на орбитах высотой порядка 20 тыс. км. Период обращения спутника по орбите составляет 12 ч. Каждый спутник передает радиосигнал, содержащий данные о местоположении, времени сигнала, основных параметрах спутника и наземных станций слежения, объединенных в общую сеть. Обработка сигналов в GPS-приемнике обеспечивает точность Р-кода более 10 м и С/А-кода – около 20 м [72, 92].

Развитие системы GPS предусматривает повышение точности гражданского навигационного сигнала, создание новых навигационных спутников с повышенными тактико-техническими характеристиками, реализацию пространственного селективного доступа и др. [65].

Российская орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 25 космических аппаратов, 23 из которых выполняют работу в штатном режиме, один находится на этапе летных испытаний, еще один – на исследовании главного конструктора [92]. Система ГЛОНАСС ставит перед собой задачу глобальной оперативной навигации наземных и низкоорбитальных космических объектов. Другими словами,

такой объект в любом месте в любой момент времени может за несколько секунд определить параметры своего движения.

Космические аппараты, используемые в системе ГЛОННАС, выведены на круговые геоцентрические орбиты высотой 19100 км над поверхностью Земли. Их период обращения составляет 11 ч 15 мин.

Навигационная система ГЛОНАСС обеспечивает решение навигационных и координатно-временных задач в интересах как специальных, так и гражданских потребителей (рис. 11) [72], позволяет осуществлять глобальную непрерывную навигацию путем использования сигналов стандартной и высокой точности.

Рис. 11. Структура системы ГЛОНАСС

В системе ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов (два диапазона частот), в GPS – кодовое разделение сигналов

(две частоты передачи сигналов). По аналогии с системой GPS диапазон частот сигнала стандартной точности называют диапазоном L1, высокой точности – L2 [93].

Федеральной целевой программой «Глобальная навигационная система», предусматрено развитие системы ГЛОНАСС в части повышения точности и достоверности определения координат объектов, внедрения спутниковых навигационных технологий управления движением, значительное снижение эксплуатационных расходов, отказ от использования традиционных наземных навигационных радиотехнических средств и др. Разработка глобальных навигационных систем ведется также в европейских странах (Galileo).), Китае (COMPAS), Индии (IRNSS) и Японии (QZSS) [72].

Базовым методом определения координат является вычисление расстояния от GPS-приемника до нескольких спутников, расположение которых считается известным. Постоянно отслеживая свое местоположение в течение некоторого времени, GPS-приемник может рассчитать скорость и направление движения. Для обеспечения точности вычислений полученный сигнал спутника должен корректироваться с помощью дифференциальной системы позиционирования (DGPS), которая устраняет более 90% погрешностей, связанных с влиянием атмосферы Земли на спутниковый сигнал, а также вызванных неточностью вычисления времени и высоты орбит спутников. В настоящее время существует множество широкозонных, региональных и локальных дифференциальных систем [72].

В мире существуют следующие системы дифференциальных поправок: американская WAAS, европейская EGNOS, японские MSAS и QZSS, индийская GAGAN. Эти системы используют геостационарные спутники для передачи поправок всем потребителям, находящимся в зоне их покрытия (2000-5000 км^2). Диапазон рабочей зоны региональных систем составляет от 400 до 2000 км^2. Локальные системы имеют максимальный радиус действия 50-200 км. Сервисы DGPS условно можно разделить на два типа: наземный и спутниковый. Они могут быть бесплатными и платными.

На территории России основными видами спутниковых бесплатных дифференциальных поправок являются системы EGNOS (только Европейская территория России, не включая Южный феде-

ральный округ и Поволжье), обеспечивающие точность 40-50 см и StarFire 1 (фирма «John Deere»), которая работает только с фирменным оборудованием, точность – 35 см. Среди платных систем коррекции следует отметить спутниковые дифференциальные сервисы Omnistar, предусматривающие несколько видов поправок: Omnistar VBS с точностью 15-20 см, Omnistar HP/XP – точность 8-10 см, а также StarFire 2 – точность 10-18 см.

К платным наземным поправкам относятся RTCM и RTK, позволяющие добиться точности 50 и 2-5 см соответственно. Для RTK-режима требуются два специализированных GPS-приемника и два радиомодема (рис. 12) [71]. Один приемник, являясь базовой станцией, передает сообщение поправки подвижному приемнику (роверу). Оба приемника собирают дополнительные данные от GPS-спутников по каналу L2, что ведет к повышению точности.

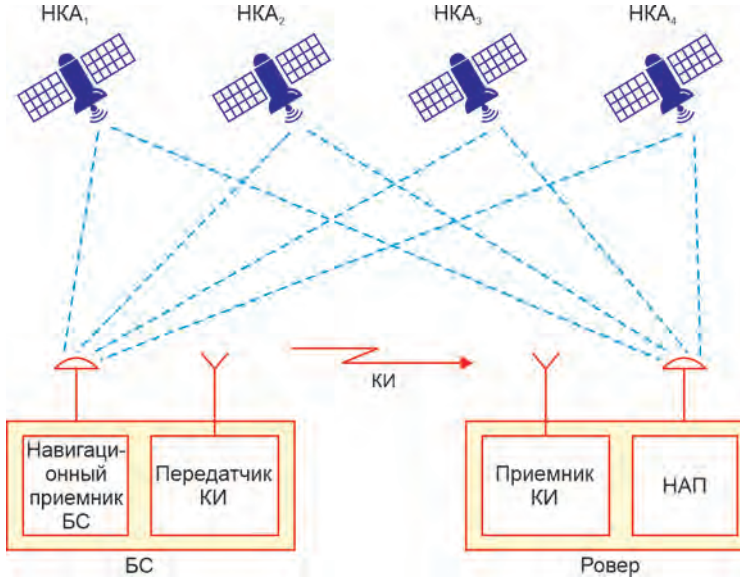

Рис. 12. Организация дифференциального режима ГНСС (НКА – навигационный космический аппарат, БС – базовая станция, НАП-навигационная аппаратура потребителей, КИ – корректирующая информация)

Такие поправки передаются по радиоканалу в радиусе 11 км от базовой станции и ограничиваются мощностью передатчика и рельефом местности. Ровер, используя поправки от БС, корректирует свои параметры и получает координаты с более высокой точностью (до 2,5 см). Для вычисления поправок существуют метод коррекции координат и метод коррекции по навигационному параметру [72].

В большинстве систем дифференциальной коррекции используется метод коррекции по навигационному параметру. Степень повышения точности определения местоположения напрямую зависит от дистанции между ровером и базовой станцией (БС). Увеличение расстояния уменьшает корреляцию систематических погрешностей БС и ровера, что снижает эффект корректировки данных. Поправки, которые формируются специальным программным обеспечением, встроенным в GPS-приёмник, называются внутренними, они обеспечивают точность движения по параллельным рядам от 20 до 30 см [71].

7. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Функциональные возможности геоинформационных систем (ГИС), предназначенных для решения в том числе задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления окружающей средой, сбора, хранения, обработки, доступа, отображения и распространения пространственно-координированных данных, реализуются с использованием геоинформационных технологий – совокупности приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации [94].

Такие технологии объединяют в себе методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), системы управления базами данных (СУБД), системы глобального позиционирования (GPS), методы анализа и дешифрирования геоинформации, интернет-технологии, системы картографирования, методы цифровой обработки изображений [72].

Среди зарубежных ГИС получили известность Maplnfo, ArcGIS, AtlasGIS, WinGIS, MGE, MapPoint, среди отечественных – GeoDraw, Sinteks ABRIS, ГИС «Хозяйство», «Панорама АГРО», «Карта 2011», мобильная ГИС электронного учета сельскохозяйственных земель «ГЕОУчетчик», информационно-аналитическая система «ГЕО-Агро», ГИАС «Управление сельскохозяйственным предприятием» и др.

ГИС применяются для составления тематических картограмм хозяйства, таких как карты использования земель, уклонов и экспозиций склонов, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др. Перечисленные карты лежат в основе оценки агроклиматических условий хозяйства, принятия решений о необходимости внесения удобрений и возможности выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры. Обязательными модулями геоинформационной системы являются базы геоданных, система ввода и хранения данных, преобразование систем координат и трансформация картографических проекций, система управления, анализа и моделирования, система вывода и предоставления данных, взаимодействие с пользователем (рис. 13) [72].

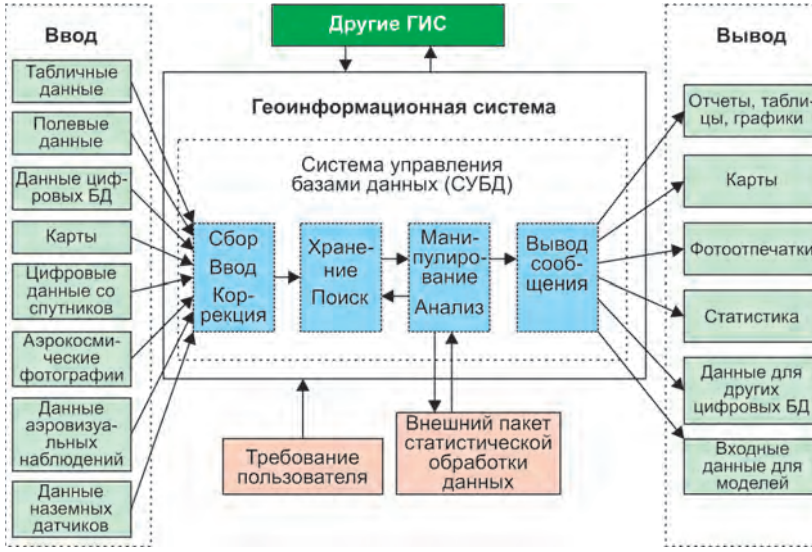

Рис. 13. Блок-схема функционирования ГИС

С помощью программных модулей ГИС осуществляются создание электронных карт земельных участков, привязка атрибутов к идентификаторам топографических объектов, работа с GPS-приемниками, навигация объекта в заданную соответствующими координатами точку, отображение геометрических показателей (расстояния, площади) геообъектов и др. [93].

Для работы в управленческих программах для сельского хозяйства разработано специальное программное обеспечение ГИС, позволяющее получать информацию о производственном процессе, планировании и моделировании технологических операций, формировании отчетов и др. К таким программам относятся ГЕО-Агро, ГИС-Панорама Земледелие, Farm Works Site (Pro), SST Summit, SMS Desktop Software (Ad-vanced и Basic), JD Reports MAP АграрОфис, Agro-Net NG, Farm View Record Keeper и др. [71, 72].

Электронные карты можно использовать также для мониторинга подвижной техники в специализированных программах для сельского хозяйства, таких как ГИС-Панорама АГРО, ГИС-Панорама АВТО и др., а также в универсальных – Авто-ГРАФ, Спутник, Бит-Нова,

Бизнес-навигатор и др. Электронные карты полей, создаваемые в аграрных ГИС, масштабом 1:10000 дают наиболее точное и полное представление о сельскохозяйственных угодьях (рис. 14) [71].

Рис. 14. Скриншот цифровой картограммы участка сельскохозяйственных угодий

Эту информацию можно получить с помощью данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства. Процесс сбора данных дистанционного зондирования и их использование в геогра-

фических информационных системах (ГИС) схематически представлены на рис. 15 [93].

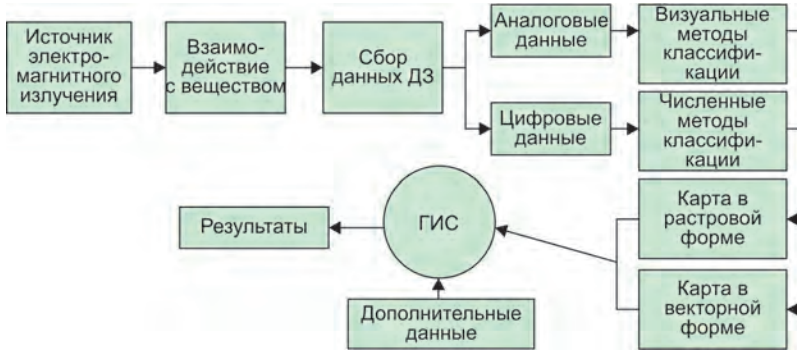

Рис. 15. Данные дистанционного зондирования, интегрированные в ГИС

Основу методов ДЗ составляют использование сенсоров, размещаемых на космических аппаратах, которые регистрируют электромагнитное излучение в форматах, позволяющих вести цифровую обработку данных в широком диапазоне электромагнитного спектра, как правило, в инфракрасном диапазоне отраженного излучения, тепловом инфракрасном и радиодиапазоне электромагнитного спектра.

Для приема, регистрации, обработки, архивации, каталогизации и распространения космической информации с отечественных и зарубежных космических аппаратов ДЗЗ функционирует ряд компаний (научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ), компания «Совзонд», компания «Ракурс» и др.) [72].

В точном земледелии главным элементом является составление многослойных электронных карт полей (МЭК), в которые, помимо слоя, отображающего с заданной точностью границы полей, дорожную сеть и населенные пункты, вносится вся информация о рельефе, состоянии почвы на участке, внесении удобрений и средств защиты растений, севообороте, урожайности и влажности зерна по годам, точке проведения замеров и взятии проб и др. (рис. 16). В каждом слое хранится конкретная информация в виде объектов. Самым нижним слоем обычно является снимок местности из космоса [71, 72].

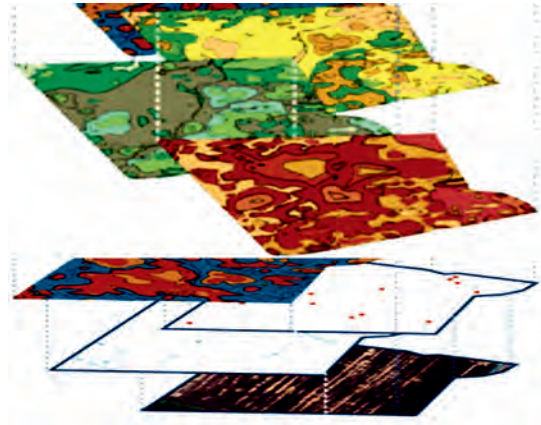

Рис. 16. Слои МЭК (структура почвенного покрова, грунтовых вод, содержание макро- и микроэлементов, агрохимические показатели, севооборот, урожайность по годам и др.)

Цифровые карты бывают растровые и векторные. Растровая карта представляет собой цифровое изображение, получаемое путем сканирования бумажной карты, т.е. является копией оригинала и обеспечивает сохранение всех деталей исходной бумажной карты. Особенность такой карты в том, что сканируемый файл имеет большой объем, и внести в него какие-либо новые данные, кроме отображения, практически невозможно. Векторная карта представляет собой базу данных, в которой хранится информация об объектах карты в виде графического (геометрического) и атрибутивного (семантическое) описания объектов. Атрибутивное описание включает в себя такие данные, как высота дерева, ширина дороги, скорость течения реки, название населенного пункта, улицы, адрес дома и т.д., графическое – определяет контуры объектов (в общем случае криволинейные), представляя их, как правило, ломаными линиями, цвета, стили линий для линейных объектов и характер заполнения для площадных [72].

В электронной векторной карте полей каждый объект полностью автономен и может редактироваться отдельно от других объектов, к каждому из них возможно привязать несколько характеристик. Эта информация с использованием специального программного обеспечения является основой для создания современной системы управления сельским хозяйством.

Электронная карта – это средство инвентаризации земель, определяющее ресурсный потенциал хозяйств, позволяющее точно рас-

считать нормы расхода топливосмазочных материалов, внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР) в зависимости от площади. Создание карты качества почв отдельных участков поля позволяет вести дифференцированное внесение СЗР и удобрений в различных частях поля, что экономит удобрения, СЗР и исключает перенасыщение ими почвы.

Ведение электронной карты поля дает следующие преимущества [72]:

- возможность ведения учета и контроля всех сельскохозяйственных операций с использованием точных данных (площадь полей, длина дорог, расположение населенных пунктов и др.);
- помощь в проведении полного анализа условий, влияющих на рост растений на данном поле;
- оптимизация производства с целью получения максимального дохода, а также рационального использования в производстве ресурсов;
- ведение паспортов сельскохозяйственных угодий с учетом привязки к году урожая;
- просмотр и анализ тематических карт агрохимического мониторинга полей, возделываемой культуры, вносимых удобрений, урожайности, экономической эффективности культуры и др.

Современные технологии позволяют создавать электронные карты полей с большой точностью. Существует три основных метода сбора исходных данных для создания электронных карт полей [71, 72]:

- обмер поля с помощью высокоточного ГНСС-приёмника в полевых условиях. Метод позволяет получить высокоточные географические координаты границ поля, наложить их на географическую карту, произвести расчёт всех его геометрических характеристик;
- обработка космического изображения высокого разрешения. Этот метод является менее точным, но более дешёвым;
- комбинированный метод, суть которого заключается в том, что электронная карта поля, созданная по космическим снимкам, редактируется с помощью высокоточного ГНСС-приёмника с выездом на поле, используя специализированные аппаратно-программные комплексы, например, комплекс «ГЕО-Учётчик».

Наличие электронной карты позволяет проводить агрохимическое обследование полей, вносить в нее дополнительную инфор-

мацию о содержании основных элементов – N, P, K, Ca, Mg, S, Ph, гумуса и др. Таким образом, электронная карта поля становится все более детальной. При необходимости она может быть преобразована из одного картографического формата в другой [72].

Использование электронных карт полей можно показать на примере компании Galaxy Precision Ag Services Ltd., которая, используя космические изображения со спутника СПОТ, предоставляет информацию по распределению качества посевов с разрешением на местности, достаточным для управления фермерскими хозяйствами. Далее эта информация анализируется и объединяется с другими наборами данных, полученных традиционными методами, давая возможность фермеру изменять приемы ведения хозяйства, включая внесение удобрений, в зависимости от меняющихся условий на полях. Многочисленные источники данных (цифровые карты урожайности, данные со спутников, карты почв и нитратов, возделывания и севооборотов) объединяются в ГИС и обрабатываются для получения карты действительного состояния посевов на текущий момент.

Оперативные картограммы состояния посевов служат основой для системы поддержки решений. Пользователь-эксперт работает с ней в интерактивном режиме, чтобы получить результаты обследования в ценовом выражении с добавлением информации о прибыли и убытках. Различия в состоянии посевов относятся к трем классам: постоянному, временному и смешанному – в зависимости от сочетания состояния посевов и погодных условий.

Компания Galaxy Precision Ag Sevices использует программное обеспечение ERDAS IMAGINE для определения степени изменчивости посевов на полях. В результате фермеры могут выборочно вносить удобрения для корректировки или повышения урожайности, избегая потерь и максимально увеличивая прибыль. В областях наилучшего произрастания посевов быстрее истощаются запасы азота в почвах. Поэтому раннее обнаружение различий в состоянии посевов позволяет своевременно определить участки полей, на которых необходимо дополнительное внесение удобрений. Машины-разбрасыватели, снабженные GPS, с высокой точностью распределяют удобрения в требуемом количестве и в определенных местах поля, что помогает фермерам избежать потерь и максимально увеличить прибыль.

На рис. 17 показано обработанное в IMAGINE изображение нескольких полей, на которых области с высокой урожайностью отображаются в красных тонах, а с низкой – в голубых [95].

Рис. 17. Обработанное в программе IMAGINE изображение нескольких полей

8. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И АНАЛИЗА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

В традиционном земледелии используют отбор небольшого количества проб почвы или отбор одного смешанного образца с определенной площади, что не позволяет оптимизировать питание всех растений, поскольку их биологическая потребность в питании на различных участках поля может быть разной – в зависимости от освещенности, влажности почвы, наличия питательных веществ, сорняков и т.д.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений на основе картограммы плодородия почвы является одним из ключевых элементов точного земледелия. Поэтому отбор проб на каждом поле производится по сетке, узлы которой благодаря системе навигации имеют точные координатные привязки [71, 72].

Например, в Германии на каждом сельскохозяйственном поле пробы почвы отбираются по постоянной фиксированной сетке (одна проба на 0,25 га) каждые пять лет. Для более подробного картирования сетка отбора проб может быть более частой. Отобранные по сетке почвенные пробы анализируются в агрохимической лаборатории на содержание основных элементов минерального питания растений, затем полученные данные вводятся в программу в системе координат, что позволяет получить карту плодородия каждого конкретного поля. Карта и уровни плодородия в каждой точке загружаются в специализированные программы (например, SMSAdvanced или Agrar-Office), которые формируют задание для бортового компьютера, регулирующего дозы внесения удобрений машиной (по технологии offline). Таким образом, для каждого участка поля рассчитываются и вносятся расчетные дозы именно тех удобрений и микроэлементов, которые необходимы именно на этом конкретном участке поля [72].

Отбор образцов по сетке может быть осуществлен с точностью, которую могут обеспечить навигационная система и существующие технологии. Внесение удобрений осуществляется с той точностью,

которую обеспечивают машины для внесения удобрений. Поэтому построение картограмм плодородия и картограмм применения удобрений или внесения СЗР (файлов предписания) должно учитывать ширину захвата машин. Выбор сетки для автоматического отбора проб можно задать любого масштаба в зависимости от цели картографирования в строгом соответствии с площадью участка. В то же время размеры площади для определения индекса NDVI зависят от модели прибора, и могут составлять от сотых долей до нескольких квадратных метров. Использование индекса NDVI позволяет оценить не только неоднородность плодородия почвы, но и пятнистость, обусловленную засоренностью посевов и распространением болезней.

Данные по агрохимическим показателям свойств почвы могут быть получены только точечным методом с указанием координат точек. По этим данным строится картограмма или контурная карта распределения почвенных свойств. Пример пространственного распределения фосфора (P_2O_5) в пахотном слое почвы на поле, полученный при различных способах обработки данных, представлен на рис. 18 [71, 72].

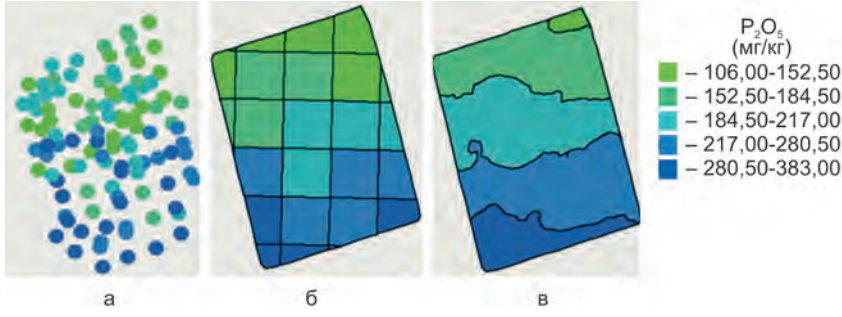

Рис. 18. Пространственное содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы:
a – точки диаметром 10 м; b – сетка 30×30 м; c – контурная карта

Основой технологии дифференцированного внесения удобрений, проводимого в режимах offline и online, являются почвенные карты, созданные на основе отбора и анализа почвенных проб.

Режим offline предусматривает предварительную подготовку на стационарном компьютере карты-задания, в которой содержатся пространственно привязанные с помощью ГНСС дозы удобрения для каждого элементарного участка поля. Для этого осуществляется сбор пространственно привязанных данных о границах поля и контурах неоднородности свойств. Формируется карта-задание на основе расчёта дозы для каждого элементарного участка поля, которая затем переносится на флеш-карту бортового компьютера, оснащённого ГНСС-приёмником и управляющего контроллером сельскохозяйственной техники. Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, с помощью ГНСС-приемника определяет свое местонахождение, считывает с карты дозу удобрений, соответствующую месту нахождения, и посылает сигнал на контроллер распределителя удобрений (или опрыскивателя), который выставляет на распределителе удобрений необходимую дозу [72].

В режиме online бортовой компьютер получает данные непосредственно от датчика, сравнивает их с определенными и записанными в память значениями, полученными во время калибровки, и посылает сигнал на контроллер, который устанавливает необходимую дозу, как и в режиме offline.

В настоящее время активно ведутся разработки различных датчиков, позволяющих использовать режим online. Это оптические датчики, работающие в диапазонах разных длин волн, определяющие содержание азота в листьях, засоренность и развитие болезней посевов. Для мониторинга плодородия почвы отбирают пробы с разных участков поля или отбор одного смешанного образца с определенной площади по различным горизонтам. Для этого применяются контактный и бесконтактный способы, но наиболее часто используются контактные.

Схема отбора и анализа почвенных проб, создания почвенных и технологических карт представлена на рис. 19 [96].

Плодородие почвы определяют по следующим основным показателям [72]:

- агрохимические показатели: pH – кислотность, органическое вещество, гранулометрический состав, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований, нитраты;

• макроэлементы: подвижный фосфор, обменный калий, азот нитратов, азот аммонийный, железо;

• микроэлементы: кобальт, марганец, медь, молибден, цинк, никель;

• токсичные элементы: кадмий, свинец, хром, ртуть, мышьяк, бензапирен, нефтепродукты;

• бактериология: индекс БГКП (количество бактерий группы кишечная палочка на 1 г почвы), индекс энтерококков (количественное содержание бактерий рода энтерококки в 1 г почвы), патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы.

Рис. 19. Схема отбора почвенных проб для создания почвенных и технологических карт

Для взятия образцов почв используются автоматические почвенные пробоотборники, которые устанавливаются на тракторы, автомобили, четырехколесные мотоциклы, мини-тракторы и др. Кроме этого, транспортное средство оснащается GPS-приемником и мобильным компьютером, что позволяет непосредственно в поле фиксировать на электронной карте координаты точек взятия проб для возможности восстановления маршрута обследования [72].

Фирма «Bodenprobetechnik Nietfeld» (Германия) выпускает пробоотборники Easy-Sampler, Duoprob 60, Concord C 2400 с глубиной

взятия однородных проб почвы от 30 до 90 см. Скорость цикла взятия пробы составляет 20-25 с. Некоторые модели пробоотборников фирмы «Bodenprobetechnik Nietfeld» представлены в табл. 3 [93, 96].

Таблица 3

Пробоотборники фирмы «Bodenprobetechnik Nietfeld»

Пробоотборник почвы N 2000	Отбор проб производится с помощью спирального бура. Конструкция бура обеспечивает равномерный отбор почвы по всей глубине (устанавливается с помощью специального электрического датчика). Время взятия пробы – 2-5 с. Является самым быстрым пробоотборником на рынке
Пробоотборник Nietfeld Duoprob 60	Отбор проб почвы производится с глубины 0-30 см и 30-60 см. Применяется гидропривод, позволяющий работать с самыми тяжелыми и плотными почвами. Время взятия одной пробы занимает 20-25 с в зависимости от состава почвы
Пробоотборник Nietfeld N2005	Автоматический отбор проб производится с глубины 10-30 см. Применяется спиральное сверло. Оснащен собственным гидравлическим двигателем (Power Pack), поэтому не зависит от гидравлической системы транспортного средства, на которое он установлен. Время, необходимое для одного прокола, 3-5 с

Продолжение табл. 3

Пробоотборник Nietfeld N2012	Предназначен для автоматизированного отбора образцов почвы с глубины 10-30 см. Производит отбор проб с помощью спирального сверла. Конструкция сверла обеспечивает равномерный отбор почвы по всей высоте отбора. Глубину отбора можно устанавливать с помощью специального электрического датчика. Питание от электрической сети автомобиля

При определении содержания нитратов используется пробоотборник NH 90 (без автоматического выгружения желобка), при исследовании на нематоды – NEPROMAX (System Einig). Автоматический пробоотборник Multiprob 120 с глубиной отбора 10-90 см может брать пробы с глубины 120 см, при этом пробный материал из различных горизонтов автоматически попадает в соответствующие емкости. Все функции выполняются двумя приводами, которые работают поочередно, при этом контролируются позиция и скорость [72].

Другая немецкая фирма «Fritzmeier Systems GmbH & Co KG» поставляет автоматические приборы для исследования почвы серии Profi, которые полностью автоматизированы, имеют веретенообразный бур с гидравлическим приводом. Они позволяют отбирать пробы с глубины 0-90 см. Встроенный компьютер с пакетом прикладных программ обеспечивает картирование каждой точки отбора проб и документирование результатов исследований за несколько лет. Для записи результатов, фиксации точек отбора проб, получения почвенных карт используются бортовой компьютер с встроенным GPS-приемником и специализированное программное обеспечение [71].

Широкий спектр оборудования для анализа почвы выпускает фирма «Amity Technology» (США). Пробоотборники Конкорд позволяют отбирать однородные пробы почвы с глубины 0-61 см и 0-120 см, время отбора – от 4 до 60 с (в зависимости от модели). Имеются модели, которые позволяют получать пробы, исключающие попадание в них посторонних примесей, в том числе частей

других проб. Получили распространение пробоотборники таких зарубежных фирм как «Wintex Agro» (Wintex 1000, Wintex 2000, Wintex 3000, Wintex MCL3), «Chrestie Engeneering» (Soiltest 1600), «AgriCon GmbH Precision Farming Company» и др. [72].

Так, для агрохимического анализа почвы и определения наличия элементов, определяющих ее плодородие (обеспеченность основными элементами минерального питания, механический состав, водородный показатель, и степень насыщения органическим веществом), в Краснодарском крае использовался автоматический пробоотборник почвы Wintex 2000 (Дания). В комплект входят GPS-приемник, компьютер и картографическое обеспечение. Общий вид прибора представлен на рис. 20 [97, 98].

а *б*

Рис. 20. Общий вид автоматизированного пробоотборника Wintex 2000 (а) и смонтированного на квадроцикле (б)

Пробоотборник почвы Wintex 2000 может забирать образцы из двух почвенных слоев (0-30 см и 30-60 см) в рамках одного рабочего хода с помещением проб в разные контейнеры. Самоочищающийся зонд способен проникнуть на глубину до 60 см. Может работать в рыхлом песке, глине, а также очень су-

хих и твердых почвах. Управление пробоотборником выполняется с сиденья водителя.

Зонд пробоотборника Wintex 2000 погружается в землю при помощи гидравлического молота, выполняющего 2100 ударов в минуту, и давления, которое можно регулировать в зависимости от типа почвы. Когда зонд достигает нужной глубины, происходит вращение, а затем поднятие почвы, т.е. нет смешивания слоев. Анализ почвы производится в специализированной лаборатории.

Техническая характеристика автоматического пробоотборника почвы Wintex 2000

Автоматизация отбора	Полная
Глубина взятия пробы, см	0-30; 30-60
Число уровней отбора	2
Диаметр зонда, мм	22/26
Скорость отбора, с	20
Масса пробы, г	75 - 138
Гидравлическая система	Двигатель Honda GX200 – 5,5 л.с.
Принцип отбора	Гидравлический молот + + гидравлический цилиндр
Гидравлический насос	16 л/мин, 100 бар
Электрообеспечение	12 В постоянного тока
Емкость батареи	14 А-ч, 250 Вт
Масса пробоотборника, кг	91,5

Полученные данные по кислотности почвы, содержанию нитратного и аммонийного азота, а также подвижного фосфора, калия и серы легли в картографическую основу для использования в технологиях точного земледелия.

Комплекс приборов, входящих в автоматизированные анализаторы плодородия почвы, как правило, размещается на прицепных устройствах автомобилей повышенной проходимости (рис. 21) и включает датчики влажности почвы и электропроводности, pH-метр, датчик обеспеченности почвы органическим веществом, систему навигации и другое оборудование [71].

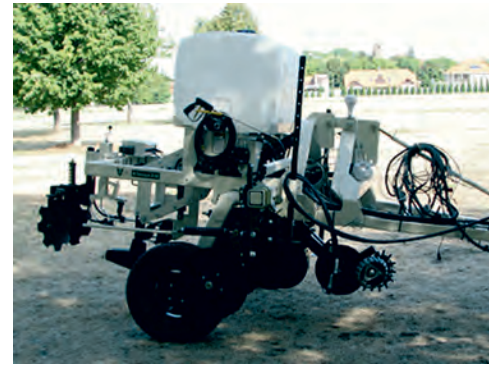

Рис. 21. Мобильный анализатор почвы компании «Veris Technologies»

Технические средства для анализа и отбора проб почвы в системах точного земледелия созданы и в России. Например, мобильный комплекс на базе автомобиля «Нива» для анализа и отбора проб почвы, разработанный Агрофизическим НИИ, включает в себя автоматический почвенный проботборник HYDRO 20 (Германия), спутниковую систему позиционирования, бортовой компьютер, программное обеспечение FieldRover II. Комплекс позволяет брать пробы с глубины 25 см, создавать электронные карты полей и проводить агрохимическое обследование почв.

Агрохимическое обследование включает в себя следующие этапы: создание контура поля (с точностью GPS-приемника); разметка поля на элементарные участки заданной площади; отбор и маркировка проб; агрохимический анализ в аккредитованной лаборатории; визуализация и анализ результатов в ГИС. Помимо обследования полей, такой комплекс может применяться для измерения электропроводности и теплопроводности почвы, выявления специфических участков, пораженных нематодой, и других целей [72, 93].

По результатам измерения электропроводности почвы определяются гранулометрический состав, органическое вещество, влажность, концентрация солей в почвенном растворе, показатель pH и др. Для изучения электропроводности почвы используют контактный и бесконтактный методы измерения. Контактный метод основан на измерении электропроводности почвы с помощью электродов, которые представляют собой изолированные стальные диски, находящиеся в постоянном контакте с почвой. Для измерения электро-

проводности используется внедорожник с бортовым компьютером, GPS-приемником, прибором, определяющим электропроводность, и прицепным агрегатом с дисками (рис. 22). Технология измерения электропроводности заключается в следующем: агрегат движется по полю в режиме параллельного вождения с погруженными в грунт дисками. На одну пару изолированных электродов подается напряжение, другая служит для измерения падения напряжения между ними. Значения электропроводности совмещаются с данными GPS и отображаются в виде карты [71, 72].

Рис. 22. Измерение электропроводности почвы с помощью прицепного агрегата Veris 3100 (компания «Veris Technologies», США)

Агрегат Veris 3100 формирует два вида карт – карту поверхностного слоя (30,5 см) и карту, захватывающую корневую зону (91,5 см). Первая часто используется для выбора мест забора проб, вторая – для определения нормы внесения удобрений [93].

Бесконтактное определение электропроводности почвы проводится с помощью приборов для измерения электромагнитной индукции и георадаров. Аппаратура для измерения электромагнитной индукции в большинстве случаев объединяется с приемниками GPS для обеспечения позиционирования проводимых измерений, позволяет обойтись без отбора образцов. Так, разработанный компанией «Geonics Limited» (Канада) датчик EM38-MK2 для измерения электропроводности почвы позволяет выделить почвенные контуры, оценить электропроводность почвы и магнитную восприимчивость

в интервалах почвенных глубин 0,75 и 1,5 м без разрушения почвы и отбора образцов [72].

Институтом нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН на основе метода электромагнитного индукционного частотного зондирования разработан многоцелевой электромагнитный сканер «Немфис», который может использоваться для исследования состояния почв. Прибор представляет собой трехкатушечный зонд, позволяет сканировать большие площади с привязкой GPS, визуализации карт и разрезов в реальном времени. Сканер управляется с помощью беспроводного модуля на базе карманного ПК по технологии Blue Tooth, эксплуатируется одним оператором и обладает высокой помехозащищенностью [72].

Для мониторинга плотности почвы в России и зарубежных странах применяются специальные приборы (пенетромеры). Так, электронный пенетрометр SC 900 (компания «Spectrum Technologies», США) позволяет измерять уплотнения почвы с привязкой к координатам местности. Прибор совместим с картографическим онлайн-приложением SpecMaps, имеет память для хранения до 772 профилей [99].

Наряду с применением автоматизированных пробоотборников для анализа плодородия почв проводятся исследования по применению и интерпретации многозональных космических снимков среднего и детального пространственного разрешения, которые показали, что их можно успешно использовать для мониторинга различных процессов на землях сельскохозяйственного назначения, приводящих к изменению плодородия почв (например, развитие плоскостной и линейной эрозии, уменьшение гумусированности и выход на поверхность карбонатных и других пород, просадки, заболачивание, подтопление). Выявлены дешифровочные признаки, соотносимые с данными показателями почвенного плодородия. В процессе дешифрирования космических снимков детального пространственного разрешения были выделены элементы структуры почвенного покрова, ограничивающие почвенные комбинации и являющиеся границами элементов их внутреннего строения, что очень важно для целей картирования почв.

Исследования показали, что по единичным космическим снимкам проводить дешифрацию почвенного плодородия невозможно, необходим анализ серии снимков разных лет. При этом для каждого

временного среза отражательная способность пашни в ближнем ИК- и видимом диапазонах тем ниже, чем выше процент органического вещества в почве.

В основу предложенной схемы проведения мониторинга и оценки плодородия почв положено сочетание использования регулярно поступающих материалов дистанционного зондирования, данных полевых почвенных исследований, почвенных карт, картографических кадастровых данных, обработка фондовых материалов по почвам и почвенным свойствам [100].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что цифровые методы оценки, планирования и использования земель сельскохозяйственного назначения на основе развития дистанционного зондирования как наиболее оперативного и объективного источника информации о плодородии земель являются наиболее перспективными среди других методов в связи с их объективностью, оперативностью и возможностью охвата больших территорий.

Методы изучения Земли из космоса относят к высоким технологиям не только в связи с использованием спутниковых систем, сложных оптико-электронных приборов, компьютеров, но и с новым подходом к получению и интерпретации результатов измерений, которые постоянно развиваются.

Использование результатов прогнозирования урожайности на основе спутниковых данных наряду с результатами, полученными другими методами, позволяет повысить точность прогнозов, в том числе своевременно принять оперативные управленческие решения по устранению негативных явлений, влияющих на урожай.

Все большую популярность приобретают специализированные веб-сервисы, позволяющие оперативно отслеживать состояние вегетации, мониторить активы сельскохозяйственного предприятия. Например, сервис «Геоаналитика.Агро», разрабатываемый компанией «Совзонд», даёт информацию о состоянии посевов по данным кос-

мической съемки об условиях земледелия, таких как погода, агрометеорологические условия, почвы и рельеф. Результаты мониторинга предоставляются в виде интерактивных карт, графиков, диаграмм

В настоящее время Россия обладает данными космической съемки, которые используются при проведении мониторинга и инвентаризации сельскохозяйственных угодий в масштабах всей страны. Однако для внедрения космических технологий в сельскохозяйственное производство в широком масштабе необходимы активная работа по их продвижению на государственном уровне, развитие исследований по разработке методов повышения точности прогнозов на основе разработки и использования современных космических аппаратов, оборудования и программного обеспечения.

Информация о реальных площадях и структуре сельскохозяйственных угодий позволяет ответить на многие вопросы, возникающие в процессе управления сельскохозяйственным производством страны, формирования политики эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения.

Минсельхоз России совместно с заитересованными организациями готовит ежегодные доклады о состоянии и использовании земель СХН, в которых представлена информация по различным аспектам состояния и использования земель СХН в Российской Федерации. Приводится аналитическая информация, направленная на выявление основных тенденций формирования политики рационального использования земель, обеспечения повышения производства сельскохозяйственной продукции при сохранении плодородия сельскохозяйственных угодий, а также структура и динамика использования земель СХН, возможности использования результатов спутникого мониторинга земель в практике информационного обеспечения задач управления сельскохозяйственным производством.

Разработана Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН), которая введена в эксплуатацию приказом Минсельхоза России от 2 апреля 2018 г. № 130.

Проведенный анализ показал, что одиним из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использую-

щих количественные оценки растительного покрова, является **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом), который широко применяется для наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур и прогнозирования урожайности, дешифрирования различий в спектральных яркостях растительности в течение вегетационного периода, что позволяет сделать вывод об агротехническом состоянии растительности, составлять карты продуктивности сельскохозяйственных земель, ландшафтов и природных зон, почвенные, аридные, фитогидрологические, фенологические и другие эколого-климатические карты.

Работы по прогнозированию урожайности на основе спутниковых данных, позволяющих анализировать состояние посевов на больших территориях, ведутся в основном в трех направлениях: оценка урожайности по году-аналогу с использованием регрессионного анализа на основе дистанционных и метеорологических наблюдений и на основе имитационного моделирования.

Метод имитационного моделирования дает возможность оценить урожайность заблаговременно – в середине сезона вегетации. Может рассматриваться как средство независимого контроля статистической информации, поступающей с мест и позволяющей получить прогнозные оценки урожайности для отдельных полей. Однако этот метод требует большого объема полевых данных для калибровки применяемых моделей.

Развитие исследований по использованию космических технологий направлено на решение ряда проблем, сдерживающих широкое распространение этих технологий в сельском хозяйстве:

- высокая стоимость приобретения и эксплуатации оборудования;
- недостаточная надежность спутниковой связи и точность позиционирования GPS;
- недостаточное качество технической поддержки;
- продолжительность процесса программирования и калибровки устройств;

- сложность обработки данных и недостаточная подготовка персонала сельхозпредприятий;
- недостаточная точность и надежность получаемой информации, а также частота обновления данных.

Значительная работа предстоит по нормативному и методическому обеспечению процедур государственного земельного контроля и надзора на федеральном и субъектном уровнях, по разработке критериев использования сельскохозяйственных земель и нарушения земельного законодательства, что должно учитываться при совершенствовании методологии оценки и прогнозировании использования земель сельскохозяйственного назначения.

В перспективе данные аэрокосмического зондирования станут более доступными. Будут улучшаться пространственное разрешение снимков, их изобразительные качества, частота получения данных. Все большую популярность и востребованность приобретут не сами данные, а конкретная информация для принятия решений.

Получат развитие специализированные веб-сервисы, которые автоматически анализировать данные космической съемки и предоставлять информацию в понятном для аграриев виде. Будут развиваться приложения, позволяющие интегрировать данные зондирования Земли с другими источниками информации: сведениями метеонаблюдений, данными о машинном парке и расходе топлива, урожайности, валовом сборе продукции, расходе удобрений, бухгалтерском учёте и другими данными, необходимыми для планирования и эффективного использования земель сельскохозяйственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лупян ЕА., Барталев С.А., Савин И.Ю., Толпин В.А.** Спутниковые технологии мониторинга в сельском хозяйстве: возможности доступа к спутниковым данным и результатам их обработки по территории [Электронный ресурс]. URL: Lupyan_etc_ru.pdf, документ с сайта old.timacad.ru (дата обращения: 14.05.2020).

2. **Михайленко И.М., Якушев В.П.** Дистанционное зондирование земли в сельском хозяйстве// Вестн. Российской с.-х. науки. – № 6. – 2016. – С. 12-16.

3. **Михайленко И.М., Воронков И.Н.** Научно-методические и алгоритмические основы оценивания показателей продуктивности и фитосанитарного состояния посевов по данным дистанционного зондирования земли // Агрофизика. – 2016. – № 1. – С. 32-42.

4. Зачем агробизнесу космические технологии? [Электронный ресурс]. URL: https://propozitsiya.com/zachem-agrobiznesu-kosmicheskie-tehnologii (дата обращения: 14.05.2020).

5. Концепция развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года (утв. постановлением Правительства Российской Федерации № 1292-р от 30 июня 2010 г.).

6. **Васильев С.М., Домашенко Ю.Е., Митяева Л.А., Ляшков М.А., Матвиенко А.О., Глущенко Ю.Ю.** Обзор основных методов и способов оценки нарушенных земель сельскохозяйственного назначения с использованием данных дистанционного зондирования: науч. аналит. обзор. – Новочеркасск, 2018. – 65 с.

7. **Мышляков С.** Как космические технологии помогают сельскому хозяйству [Электронный ресурс]. URL: https://rb.ru/opinion/agro-space/(дата обращения: 14.05.2020).

8. **Цыганков Д.Н., Сысенко В.И.** Применение данных дистанционного зондирования для мониторинга использования земель сельскохозяйственного назначения // Ученые записки: электрон. науч. журн. Курского гос. ун-та. 2012. № 2 (22).

9. **Жуков В.Д.** Методы дистанционного зондирования в землеустройстве : учеб. пособ. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 90 с.

10. **Карпова Л.А.** Обзор российского и зарубежного опыта применения данных дистанционного зондирования для устойчивого развития сельскохозяйственных территорий [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rossiyskogo-i-zarubezhnogo-opyta-primeneniya-dannyh-distantsionnogo-zondirovaniya-dlya-ustoychivogo-razvitiya/viewer (дата обращения: 17.07.2020).

11. Зачем агробизнесу космические технологии? ©Пропозиція - Главный журнал по вопросам агробизнеса [Электронный ресурс]. URL: https://propozitsiya.com/zachem-agrobiznesu-kosmicheskie-tehnologii (дата обращения: 14.05.2020).

12. **Шульга Е.Ф., Куприянов А.О., Хлюстов В.К., Балабанов В.И., Зейлигер А.М.** Управление сельхозпредприятием с использованием космических средств навигации (ГЛОНАСС) и дистанционного зондирования Земли. – М.: ФГБОУ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2016. – 286 с.

13. Научный центр оперативного мониторинга Земли [Электронный ресурс]. URL: http://www.ntsomz.ru/dzz_info/faq_dzz/#x468 (дата обращения: 17.07.2020).

14. **Абросимов А.В., Б.А. Дворкин Б.А.** Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России [Электронный ресурс]. URL: http://www.gisa.ru/49196.html (дата обращения: 14.09.2020).

15. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения» Российской Федерации в 2015 году М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 196 с.

16. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения» Российской Федерации в 2016 году М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 240 с.

17. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения» Российской Федерации в 2017 году М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 328 с.

18. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения» Российской Федерации в 2018 году М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 340 с.

19. Дистанционное зондирование Земли [Электронный ресурс]. URL: https://www.roscosmos.ru/24707/ (дата обращения: 14.05.2020).

20. **Мышляков С.Г.** О перспективах использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для решения задач сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: https://www.stud24.ru/agriculture/distancionnoe-zondirovanie-zemli-v-interesah/437981-1646882-page1.html (дата обращения: 12.05.2020).

21. **Кормщикова М.Ю., Кива Р.Е.** Федеральная ГИС «Атлас земель сельскохозяйственного назначения» [Электронный ресурс]. URL: http://geomatica.ru/clauses/116 / (дата обращения: 19.05.2020).

22. Распоряжение Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 29 декабря 2014 года № 407-р «О порядке организации в Минсельхозе России деятельности по эксплуатации Федеральной государственной информационной системы «Функциональная подсистема «Электронный атлас земель сельскохозяйственного назначения» (с изменениями на 21 июня 2017 года № 37-р) [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/456083102 (дата обращения: 19.05.2020).

23. **Буланов К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Мартьянов А.С., Середа И.И.,Трошко К.А., Толпин В.А., Барталев С.А., Хвостиков С.А.** Блок работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы о землях с.-х. назначения// Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 171-182.

24. ДЗЗ для экологических задач. Часть 1: Введение в теорию ДЗЗ [Электронный ресурс]. URL: https://wiki.gis-lab.info/index.php?title=ДЗЗ_для_экологических_задач._Часть_1:_Введение_в_теорию_ДЗЗ&printable=yes#.D0.A7.D0.B0.D1.81.D1.82.D1.8C_I._.D0.9A.D1.80.D0.B0.D1.82.D0.BA.D0.BE.D0.B5_.D0.B2.D0.B2.D0.B5.D0.B4.D0.B5.D0.BD.D0.B8.D0.B5_.D0.B2_.D1.82.D0.B5.D0.BE.D1.80.D0.B8.D1.8E_.D0.B8_.D0.BF.D1.80.D0.B0.D0.BA.D1.82.D0.B8.D0.BA.D1.83_.D0.94.D0.B8.D1.81.D1.82.D0.B0.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BE.D0.BD.D0.BD.D0.BE.D0.B3.D0.BE_.D0.97.D0.BE.D0.BD.D0.B4.D0.B8.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.B0.D0.BD.D0.B8.D1.8F_.D0.97.D0.B5.D0.BC.D0.BB.D0.B8 (дата обращения: 14.05.2020).

25. **Зейлигер А.М., Музылев Е. Л., Старцева З. П., Ермолаева О.С., Сухарев Ю.И.** Компьютерный анализ режимов водного стресса орошаемых агроценозов с использованием SWAP-модели, а также данных наземного и космического мониторинга // Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16. – № 3. – С. 33-43.

26. **Muzylev E., Zeyliger A., Startseva Z., Volkova E., Vasilenko E., Ermolaeva O.** Modeling Processes of Water and Heat Regime Formation for Agricultural Region Area (Russia) Utilizing Satellite Data. Advances in Sustainable and Environmental Hydrology, Hydrogeology, Hydrochemistry and Water Resources. Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018 P. 37-41 https://doi.org/10.1007/978-3-030-01572-5_9

27. Физические основы дистанционного зондирования Земли в тепловом инфракрасном диапазоне [Электронный ресурс]. URL: http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/1/fizicheskie_osnovy.htm (дата обращения: 27.05.2020).

28. **Зейлигер А.М., Музалевский К.В., Зинченко Е.В., Ермолаев О.С., Мелихов В.В.** Полевое тестирование метода картографического моделирования влагозапасов поверхностного слоя почвенного покрова, основанного на данных радарной съёмки Sentinel-1 и цифровой модели рельефа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – № 4. – С. 113-128.

29. **Зейлигер А.М., Музалевский К.В., Зинченко Е.В., Ермолаев О.С., Мелихов В.В.** Полевое тестирование метода картографического моделирования влагозапасов поверхностного слоя почвенного покрова, основанного на данных радарной съёмки Sentinel-1 и цифровой модели рельефа. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17. – № 4. – С. 113-128.

30. **Байкалова Т.В.** Применение данных дистанционного зондирования для целей тематического сельскохозяйственного цифрового картографировния / XII Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука – сельскому хозяйству» 7-8 февраля 2017 г. – Барнаул: Алтайский гос. аграрный ун-т, 2017 – С. 356-359.

31. Вегетационные индексы [Электронный ресурс]. URL: https://gis-lab.info/qa/vihtml#ndvi (дата обращения: 15.04.2020).

32. **Украинский П.А., Землякова А.В.** Определение параметров почвенной линии для автоматизированного распознавания открытой поверхности почвы на космических снимках // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 9, 2014. – С. 140-144.

33. **Нагорный В.Д.** Определение и мониторинг продуктивного потенциала сельскохозяйственных земель // Междунар. научн.-техн. и производственный журнал «Науки о Земле», № 1. – 2011. – С. 274-275.

34. **Щербенко Е.В.** Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи [Электронный ресурс]. URL: http://nauka.x-pdf.ru/17selskohozyaistvo/368921-1-distancionnie-metodi-viyavleniya-selskohozyaystvennoy-zasuhi-scherbenko-institut-kosmicheskih-issledovaniy-ran-117997-mo.php (дата обращения: 20.05.2020).

35. **Черепанов А.С.** Вегетационные индексы// ГЕОМАТИКА №2'2011 2011_02_017.pdf Это документ с сайта sovzond.ru (дата обращения: 20.05.2020).

36. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. URL: https://gis-lab.info/qa/ndvi.html (дата обращения: 19.05.2020).

37. **Зейлигер А.М. Ермолаева О.С, Леонтьева М.С.** Картографическое моделирование ручейковой сети на территории опытных полей РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева по данным воздушной стереосъемки с использованием программного обеспечения семейства ArcGIS. Экология. Экономика. Информатика: сб. ст.: в 2-х т. – Т. 2: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – Вып. 1. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2017. – 246 с. ISSN 2500-123X. С. 179-188]

38. Создание ГИС сельскохозяйственного предприятия [Электронный ресурс]. URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/agro/optimizatsiya-sx-proizvodstva/ (дата обращения: 14.05.2020).

39. **Карпова Л.А.** Обзор российского и зарубежного опыта применения данных дистанционного зондирования для устойчивого развития сельскохозяйственных территорий / Л. А. Карпова // ИНТЕРЭКСПО ГЕОСИБИРЬ: Сибирский гос. ун-т геосистем и технологий. – 2016. – № 9. – С. 148-151.

40. Инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс]. URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/agro/inventarizatsiya-sx/ (дата обращения: 14.04.2020).

41. **Сабирзянов А.М., Сафиоллин Ф.Н.** Применение данных ДЗЗ при паспортизации полей Республики Татарстан В сб.: Экономика в меняющемся мире: сб. науч. ст. – 2019. – С. 16-20.

42. **Терехин Э.А.** Оценка сезонных значений вегетационного индекса (ndvi) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур // Исследование земли из космоса. – 2015. – № 1. – С. 23-31.

43. **Федоренко В.Ф., Скорляков В.И., Петухов Д.А., Трубников А.В., Негреба О.Н., Свиридова С.А.** и др. Результаты исследований способов выявления внутриполевой неоднородности почвенного покрова: Отчет о НИР, Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех»: Новокубанск – 2017. – 116 с.

44. **Рухович Д.И., Шаповалов Д.А.** Исследование долгосрочной локальной изменчивости земельного покрова методом ретроспективного мониторинга // Московский экономический журн. – 2016. – № 3 – С. 6.

45. **Куляница А.Л., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Королева П.В., Рухович Д.И., Симакова М.С.** Применение кусочно-линейной аппроксимации спектральной окрестности линии почв для анализа качества нормализации материалов дистанционного зондирования // Почвоведение. – 2017. – № 4. – С. 201-210.

46. **Федоренко В.Ф., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Трубников А.В., Мишуров Н.П.** Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия // Техника и оборуд. для села. – 2017. – № 9 – С. 2-6.

47. **Брызжев А.В., Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В.** Организация ретроспективного мониторинга почвенного покрова и земель Азовского района Ростовской области // Почвоведение. – 2013. – № 11. – С. 1294-1315.

48. **Петухов Д.А., Бондаренко Е.В., Иванов А.Б.** Технология координатного земледелия при возделывании кукурузы на зерно в производственных условиях / Д.А. Петухов, Е.В. Бондаренко, А.Б. Иванов // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «Интерагромаш-2020». – Ростов н/Д: ДонГТУ, 2020. – Т.1. – С. 219-223.

49. **Рухович Д.И.** Принципы организации проблемно-ориентированной системы ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова на основе дистанционного зондирования Земли // Информация и Космос. – 2016. – № 3 – С. 108-123.

50. **Гопп Н.В., Савенков О.А., Нечаева Т.В., Смирнова Н.В., Смирнов А.В.** Использование ndvi в цифровом картографировании содержания фосфора в почвах и оценка обеспеченности им растений // Исследование Земли из космоса. – № 2. – 2019. – С. 65-73.

51. **Уфимцев А.Е., Ермак А.А.** Использование данных дистанционного зондирования земли при организации рационального землепользования // Вестн. Югорского гос. ун-та. – 2014. – Вып. 3 (34). – С. 70-73.

52. Требования к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, а также контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке. Приказ Минэкономразвития России от 17 августа 2012 г. № 518.

53. **Петухов Д.А., Назаров А.Н., Воронков И.В.** Измерение площади поля с помощью современного специализированного приборного и программного обеспечения // Техника и оборуд. для села. – 2016. – № 4. – С. 14-17.

54. **Петухов Д.А., Назаров А.Н., Воронков И.В.** Современные способы измерения площадей полей // Агроснабфорум. – 2016. – № 2. – С. 15-17.

55. **Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7. – № 3. – С. 275-285.

56. **Бисчоков Р.М.** Создание математической модели, позволяющей прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур // Инновационные технологии в полевом и декоративном растениеводстве: сб. ст. по матер. III Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. – 2019. – С. 55-63.

57. **Неверов А.А.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургском Предуралье на основе синоптико-статистического моделирования // Известия Оренбургского ГАУ. – 2019. – № 2 (76). – С. 24-27.

58. **Тургунов Т.Т., Махмудова Н.Р.** Эконометрические исследования при прогнозировании повышения урожайности сельскохозяйственных культур // Достижения науки и образования. – 2019. – № 6 (47). – С. 4-6.

59. **Благов Д.А., Митрофанов С.В., Никитин В.С., Панферов Н.С., Пестряков Е.В.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе математических моделей баланса гумуса, кислотности почвы, npk // Междунар. науч. с.-х. журн. – 2019. – № 3. – С. 62.

60. Мониторинг состояния и развития посевов [Электронный ресурс]. URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/agro/monitoring-sostoyaniya-posevov/ (дата обращения: 14.07.2020).

61 NDVI ИНДЕКС [Электронный ресурс]. URL: https://agrosite.org/publ/programmnoe_obespechenie/ndvi_index/8-1-0-30 (дата обращения: 14.07.2020).

62. **Бондур В.Г., Гороховский К.Ю., Игнатьев В.Ю., Мурынин А.Б., Гапонова Е.В.** Метод прогнозирования урожайности по космическим наблюдениям за динамикой развития вегетации // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 6. – 2013. – С. 61-68.

63. **Лысенко С.А.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 4. – С. 48-59.

64. **Мурынин А.Б., Бондур В.Г., Игнатьев В.Ю., Гороховский К.Ю.** Прогнозирование урожайности на основе многолетних космических наблюдений за динамикой развития вегетации// Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – № 4. – С. 245-256.

65. **Zeyliger A.M. Ermolaeva O.S.** Management Strategies to Sustain Irrigated Agriculture with Combination of Remote Sensing, Weather Monitoring & Forecasting and SWAP Modeling. Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly. Vienna, Austria. 24 – 28 April 2017. Vol. 19, P. 15422 http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-15422.pdf

66. **Ботвич И.Ю., Сидько А.Ф., Шевырногов А.П., Письман Т.И.** Оценка возможности определения продуктивности и видового состава агроценозов на основе наземных и спутниковых данных // Использование космических средств и технологий для мониторинга окружающей природной среды. – 2011. – С. 201-202.

67. **Сидько А.Ф.** Дистанционный метод определения хлорофиллного фотосинтетического потенциала посевов сельскохозяйственных культур на примере пшеницы, ячменя и овса // Изв. АН. Сер. Биол. – 2004. – № 5. – С. 547-555.

68. **Петрик Г.Ф., Прудников А.Г., Логойда Т.В.** Использование прогнозов урожайности в планировании структуры посевных площадей // Тр. КубГАУ имени И.Т. Трубилина, № 76. – Краснодар, 2019. – С. 61-66.

69. Дальневосточные ученые разработали метод раннего прогнозирования урожайности сои. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 30.06.2020 (дата обращения 14.07.2020).

70. **Степанов А.С.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои) // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24. – № 6. – С. 125-133.

71. **Балабанов В.И., Федоренко В.Ф., В.Я. Гольтяпин** и др. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия: учебник. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 240 с.

72. **Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г.** Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития: науч. издание – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 316 с.

73. **Зейлигер А.М.** Точное (дифференцированное) орошаемое земледелие – технология повышения эффективности орошения и снижения нагрузки на окружающую среду // Сб. науч. докл. ВИМ. – 2010. – Т. 2. – С. 633-638.

74. **Зейлигер А.М., Фартуков В.А., Косицын А.В.** Результаты полевых экспериментов по тестированию технологии дифференцированного дождевания посевов сельскохозяйственных культур: сб. науч. докл. ВИМ. – 2012. – Т. 2. – С. 430-434.

75. **Зейлигер А.М. Ермолаева О.С.** Информационно-технологические основы пространственно-дифференцированного дождевания посевов сельскохозяйственных культур // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2016. – № 9-2 (51). – С. 41-44.

76. **Личман Г.И, Марченко Н.М.** Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. – 2011. – № 4. – С. 89-93.

77. **Федоренко В.Ф., Черноиванов В.И., Гольтяпин В.Я., Федоренко И.В.** Мировые тенденции интеллектуализации сельского хозяйства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 232 с.

78. **Авдонина И.А.** Точное земледелие – стратегия эффективного развития сельского хозяй-ства // Научн. вестн. Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2015. – № 14. – С. 5-10.

79. **Рерик Л.** Космические снимки высокого разрешения: меняя облик современного сельского хозяйства // Геоматика. – 2015. – № 2. – С. 44-45.

80. **Максимова Е.** Precision farming для российских аграриев// Агроинвестор. – 2017. – июль.

81. **Косякова Л.Н., Косяков В.Н.** Точное земледелие в России. Проблемы внедрения: сб. науч. тр. Междунар. научн.-практ. конф. молодых учёных и студентов. – Санкт-Петербург-Пушкин: ФГБОУ ВО СПбГАУ, 2016. – С. 95-97.

82. **Демкин В.П., Мерзляков О.Э., Хромых В.В., Кужевская И.В., Кривошеин Е.Д.** Современные подходы к системе точного земледелия на основе использования средств сбора информации и анализа больших данных // Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке. – 2020. – С. 157-160.

83. **Якушев В.П.** и др. Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия// Вестн. российской с.-х. науки. – №. 2. – 2020. – С. 4-10.

84. **Федоренко В.Ф, Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Трубников А.В., Мишуров Н.П.** Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия // Техника и оборуд. для села. – 2017. – № 9. – С. 2-6.

85. **Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Бондаренко Е.В., Иванов А.Б., Семизоров С.А.** Эффективность применения элементов технологии точного земледелия при возделывании озимой пшеницы в производственных условиях // Техника и оборуд. для села. – 2020. – № 5. – С. 12-15.

86. **Старовойтов В. И., Старовойтова О.А., Балабанов В.И., Манохина А.А.** Оптический полевой мониторинг в оригинальном картофелеводстве// Наука в центральной России. – № 6 (42). – 2019. – С. 91-99.

87. **Козубенко И.С., Балабанов И.В.** «Интернет вещей» в управлении агропромышленным комплексом // Техника и оборуд. для села. – 2017. – № 8. – С. 46-48.

88. Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры в России / J'son&PartnersConsulting. – URL: https://www.crn.ru/newsdetail. php?ID =121765 (дата обращения: 21.05.2018).

89. **Балабанов В.И., Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я., Железова С.В., Куликов В.Ю., Петрушин А.Ф., Прокофьев Н.А., Таркивский В.Е., Трубицын Н.В., Худяков А.В.** Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 240 с.

90. **Балабанов В.И.** Полевая стратегия. Внедрение инноваций в координатном земледелии. Агротехника и технологии. – 2016. – № 5. – С. 50-53.

91. ГОСТ Р 52928-2010. Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2011. – 16 с.

92. **Овчинникова Н Г.** Глобальные навигационные спутниковые системы — важная составляющая при ведении земельно-кадастровых работ / Н. Г. Овчинникова, Д. А. Медведков // Экономика и экология территориальных образований. – 2018. – Т. 2. – № 1. – С. 77-87.

93. **Щеголихина Е.А., Гольтяпин В.Я.** Современные технологии и оборудование для систем точного земледелия: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 80 с.

94. ГОСТ Р 52438-205. Географические информационные системы. Термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 16 с.

95. Современные методы ведения сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: http://www.ntsomz.ru/dzz_info/articles_dzz/agriculture.

96. Комплексные решения для точного земледелия: листок-кат. – «Инженерный центр «ГЕОМИР», б/г. – 47 с.

97. **Петухов Д.А., Таркивский В.Е., Иванов А.Б., Мишуров Н.П.** Результаты применения программно-приборного обеспечения при создании электронных карт полей в технологиях координатного земледелия // Техника и оборуд. для села. – 2019. – № 9 (267). – С. 16-20.

98. Автоматический пробоотборник почвы Wintex 2000 [Электронный ресурс]. URL: https://agrovektor.ru/physical_product/34183-avtomaticheskiy-probootbornik-pochvy-wintex-2000.html (дата обращения: 8.09.2020).

99. **Труфляк Е.В.** Агрохимический анализ почв. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 11 с.

100. **Савельев А.А., Григорьян Б.Р., Добрынин Д.В., Мухарамова С.С., Кулагина В.И., Сахабиев И.А.** Оценка почвенного плодородия по данным дистанционного зондирования земли // Ученые записки Казанского ун-та. Сер.: Естественные науки. – Т. 154. – № 3. – 2012. – С. 158-172.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ....3

1. СОСТОЯНИЕ И ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ (ДЗЗ) СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ....6

2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА....17

3. ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ И СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ....22

4. ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ....34

5. ПРИМЕНЕНИЕ ДЗЗ В СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ....44

6. ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ....52

7. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ....57

8. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОТБОРА ПРОБ И АНАЛИЗА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ....65

ЗАКЛЮЧЕНИЕ....76

ЛИТЕРАТУРА....80

Буклагин Дмитрий Саввич, Мишуров Николай Петрович
(ФГБНУ «Росинформагротех»),
Балабанов Виктор Иванович, Зейлигер Анатолий Михайлович
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»),
Петухов Дмитрий Анатольевич
(Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ, ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аналитический обзор

Редактор *Л.Т. Мехрадзе*
Обложка художника *П.В. Жукова*
Компьютерная верстка *А.Г. Шалгинских*
Корректор *В.А. Белова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 28.10.2020 Формат 60×84/16
Печать офсетная Бумага офсетная Гарнитура шрифта «Times New Roman»
Печ. л. 5,75 Тираж 500 экз. Изд. заказ 111 Тип. заказ 304

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-1592-3

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

Информационный бюллетень Минсельхоза России выпускается ежемесячно тиражом более 4000 экземпляров и распространяется во всех регионах страны, поступает в органы управления АПК субъектов Российской Федерации. В журнале публикуются материалы информационно-аналитического характера о деятельности Министерства по реализации государственной аграрной политики, отражаются приоритеты, цели и направления развития сельского хозяйства и сельских территорий, материалы о мероприятиях, проводимых с участием первых лиц государства по вопросам развития отрасли, освещается ход реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы.

Вы прочтете проблемные статьи и интервью с руководителями регионов, ведущими учеными-аграрниками, руководителями сельхозпредприятий и фермерами. Широко представлены новости АПК регионов.

В приложении к Информационному бюллетеню публикуются официальные документы – постановления Правительства России, законодательные и нормативные акты по вопросам АПК, приказы Минсельхоза России.

Подписку можно оформить через Роспечать (индекс 37138) и редакцию с любого месяца и на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет. Стоимость подписки на 2020 г. с учетом доставки по Российской Федерации – 4752 руб. с учетом НДС (10%); 396 руб. с учетом НДС (10%) за один номер.

Банковские реквизиты: УФК по Московской области (Отдел №28 Управления Федерального казначейства по МО) ИНН 5038001475 / КПП 503801001 ФГБНУ «Росинформагротех», л/с 20486X71280, р/с 40501810545252000104 в ГУ Банка России по ЦФО БИК 044525000 ОКТ МО 46758000

Журнал уже получают тысячи сельхозтоваропроизводителей России и стран СНГ

В Информационном бюллетене Минсельхоза России Вы можете разместить свои аналитические и рекламные материалы, соответствующие целям и профилю журнала. Размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» перечислив деньги на наш расчетный счет.

Телефоны для справок: 8 (496) 531-19-92, (495) 993-55-83, (495) 993-44-04.
e-mail: market-fgnu@mail.ru, ivanova-fgnu@mail.ru