



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра природопользования и устойчивого развития полярных областей

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

На тему Прогнозирование урожайности с использованием
дистанционных методов мониторинга

Исполнитель Дедкова Анастасия Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор биологических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Лекомцев Петр Валентинович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

К.г.н., профессор Макеев Вячеслав Михайлович

«3» нояб 2017

Санкт-Петербург

2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	6
1.1 Данные дистанционного мониторинга со спутниковых систем	7
1.2 Применение средств авиации для получения данных дистанционного мониторинга.....	12
1.3 Использование датчиков и приборов сельскохозяйственной техники	16
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА	21
2.1 Использование вегетационных индексов для прогнозирования урожайности	21
2.2 Программное обеспечение	26
2.2.1 ArcGIS	26
2.2.2 ENVI	28
2.2.3 Панорама-АГРО	30
2.3 Сервис ВЕГА	32
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ...	35
3.1 Сравнительный анализ использования данных, полученных с использованием БПЛА, и спутниковых снимков.....	35
3.2 Использование данных датчиков сельскохозяйственной техники для анализа посевов и прогнозирования урожайности.....	38
Заключение.....	46
Список использованной литературы.....	48

Приложение А	51
Приложение Б	52
Приложение В.....	53
Приложение Г	54
Приложение Д.....	55

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений управления сельскохозяйственным производством, в частности, повышения урожайности, является использование системы дистанционного мониторинга. Использование данных систем позволяет следить за состоянием посевов и своевременно принимать решения о проведении соответствующих агротехнических мероприятий.

Развитие системы дистанционного мониторинга, обусловленное увеличением числа спутников и формированием доступных данных космической съемки, позволяет говорить о создании эффективной системы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. В частности, 18 августа 2016 года было подписано Соглашение о взаимодействии в области космической деятельности между Генеральным директором Госкорпорации «РОСКОСМОС» Игорем Комаровым и Министром сельского хозяйства РФ Александром Ткачевым [16]. Целью Соглашения является внедрение и развитие системы дистанционного мониторинга в сельское хозяйство.

Актуальность работы обусловлена тем, что урожайность является интегральным показателем состояния сельскохозяйственных земель. Это позволяет на его основе судить о плодородии почв, контролировать количество вносимых в почву удобрений. Внедрение технологий дистанционного мониторинга позволит не только оптимизировать расходы на производство и повысить урожайность, но так же снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Объектом исследования является использование данных дистанционного мониторинга и геоинформационные системы.

Предметом исследования выступает прогнозирование урожайности с использованием методов дистанционного мониторинга.

Цель дипломной работы заключается в оценке возможности применения данных дистанционного мониторинга для прогнозирования урожайности.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Изучить способы получения данных дистанционного мониторинга;
2. Ознакомиться с программным обеспечением и сервисами анализа данных дистанционного мониторинга;
3. Провести сравнительный анализ данных, полученных с использованием БПЛА, и спутниковых снимков;
4. Изучить возможность использования данных датчиков сельскохозяйственной техники для анализа состояния посевов и прогнозирования урожайности.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемой литературы и приложений.

Введение раскрывает актуальность работы, определяет цель, задачи и методы исследования.

В первой главе описаны средства получения данных дистанционного мониторинга, используемых в сельском хозяйстве.

Во второй главе были рассмотрены вегетационные индексы, используемые для прогнозирования урожайности, изучены возможности программных продуктов ArcGIS, ENVI, Панорама-АГРО и сервиса ВЕГА.

Третья глава посвящена сравнительному анализу использования снимков, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов, и спутниковых данных в интересах сельского хозяйства; так же в ней была проведена оценка возможностей использования данных датчиков сельскохозяйственной техники для анализа состояния посевов и прогнозирования урожайности.

В заключении приводятся выводы по работе.

Личным вкладом в дипломную работу является оценка возможности использования датчиков сельскохозяйственной техники для анализа состояния растительности и прогнозирования урожайности.

Список используемой литературы включает 18 наименований, работа имеет 5 приложений.

ГЛАВА 1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ввиду сокращающихся в последние годы полевых агрометеорологических наблюдений сети гидрометеорологических станций Росгидромета на производственных посевах, информация о состоянии сельскохозяйственных культур на больших площадях является недостаточно полной. По этой причине с начала 2000-х годов многие исследователи обратились к проблеме использования данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) для оценки состояния сельскохозяйственных посевов и прогнозирования урожайности.

Дистанционный мониторинг (иногда его называют аэрокосмическим) представляет собой систему регулярных планомерных наблюдений, сбора информации и оценки среды с использованием средств авиации, спутников и спутниковых систем. Преимуществом дистанционного мониторинга в сравнении с другими методами является возможность непрерывного наблюдения, получение общего изображения обширных и отдаленных районов, а так же возможность осуществлять пространственно-временной анализ сразу нескольких компонентов окружающей среды и их взаимодействий между собой.

Методы дистанционного зондирования Земли базируются на регистрации и последующей интерпретации отраженной солнечной радиации от поверхности почвы, растений и других объектов. Устройства, регистрирующие данные в воздушном или околоземном пространстве, позволяют совершать значительно более широкий охват территории по сравнению с наземными методами исследований.

Данные аэрокосмической съемки используют для решения комплексных задач управления сельскохозяйственными территориями, контроля состояния посевов, оценки всхожести культур. ДЗЗ также позволяют выявить и спрогнозировать такие неблагоприятные явления, как засоление почв, ветровую

и водную эрозию, вытаптывание почвы скотом, что играет немаловажную роль при планировании сельскохозяйственной деятельности.

В зависимости от времени проведения съемок сельскохозяйственных полей по снимкам можно определять и оценивать различные параметры, характеризующие состояние почв, посевов и самих угодий. В частности, оценку состояния растительности и прогнозирование урожайности принято проводить в июне-июле.

Данные дистанционного мониторинга, применимые в сельском хозяйстве, могут быть получены как с помощью традиционных методов зонирования – спутниковых и авиационных систем, так и с помощью приборов сельскохозяйственной техники.

1.1 Данные дистанционного мониторинга со спутниковых систем

Для мониторинга состояний обширных сельскохозяйственных полей в мировой практике чаще используются космические снимки со спутников, обработка которых позволяет проводить мониторинг состояния посевов на конкретных полях. Правильная интерпретация данных космических снимков позволяет пользователю принимать решения о «точечном» внесении удобрений, инсектицидов или гербицидов, поливе и проведении прочих мероприятий.

Отличительной чертой космических снимков является высокая степень обзорности, охват одним снимком больших площадей поверхности. В зависимости от типа применяемой аппаратуры и фотопленок, фотографирование может производиться во всем видимом диапазоне электромагнитного спектра, в отдельных его зонах, а также в ближнем ИК (инфракрасном) диапазоне.

Используемые для прогнозирования урожайности спутниковые снимки должны соответствовать определенным требованиям для их дальнейшей

обработки и анализа. Основные параметры космических снимков, определяющие их качество и возможность использования, это:

- Пространственное разрешение, определяющее максимально возможную точность отображения посевных площадей. Высокое разрешение данных космической съемки позволяет получать более точные геометрические характеристики в результате их анализа.

- Спектральное разрешение. Требования к спектральному разрешению обусловлены использованием каналов в красном (0,6—0,7 мкм) и ближнем инфракрасном (0,75— 0,90 мкм) диапазонах спектра [4]. В этих диапазонах происходит расчет нормализованного относительного индекса растительности — NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который позволяет характеризовать состояние растительности на сельскохозяйственных полях.

- Временное разрешение, которое характеризует частоту проведения съемки. Для задач сельского хозяйства рекомендуется проводить съемку с частотой 7-9 суток в течение всего года.

Существует множество спутников, съемочная аппаратура которых отвечает перечисленным выше требованиям. Для реализации мониторинга сельскохозяйственных угодий могут быть использованы данные со спутников LANDSAT, TERRA, SPOT, IRS-1D, “Комета”, “QuickBird”. В ближайшей перспективе планируется реализация оперативного получения данных широкоохватных спутниковых систем, что позволит осуществлять постоянный мониторинг больших территорий. В качестве примера можно привести спутники Deimos-1 (Испания), DMC-2 (Великобритания), Resourcesat-2 (Индия). Для проведения временного анализа изменений состояния сельскохозяйственных земель могут быть использованы архивные данные спутников SPOT 2, SPOT 4, Landsat 4, Landsat 5, Landsat 7. Архивы данных содержат информацию более чем за 20 лет [4].

Спутники серии Landsat

Спутники серии Landsat были разработаны NASA специально для мониторинга состояния поверхности суши и впервые запущены в 1972 году. Изображения Landsat активно используются в сельском хозяйстве [6].

Последний спутник серии Landsat - Landsat 8 был запущен 11 февраля 2013 года. Он получает снимки, используя два набора инструментов: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Первый набор получает изображения в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения (ИК), второй набор - в 2 диапазонах дальнего (теплого) ИК излучения.

Landsat 8 осуществляет сбор и хранение мультиспектральных снимков в течение не менее 5 лет и их бесплатное распространение. Важно отметить, что геометрия, спектральные характеристики и качество изображений сохранились на уровне предшествующих спутников серии Landsat. Более подробные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 Основные технические характеристики съемочной аппаратуры космического аппарата Landsat-8 [13]

Режим съемки	VNIR	SWIR	PAN	TIR
Спектральный диапазон, мкм	Фиолетовый: 0,43–0,45 Синий: 0,45–0,52 Зеленый: 0,53–0,60 Красный: 0,63–0,68 Ближний ИК: 0,85–0,89	1,36–1,39 (Cirrus) 1,56–1,66 (SWIR–1) 2,10–2,30 (SWIR–2)	0,50–0,68	10,40–12,50
Пространственное разрешение, м	30	30	15	100
Периодичность съемки	16 суток			

Космические снимки Landsat, поставляемые потребителям, содержат 9 файлов с различными диапазонами, охватывающими видимую, инфракрасную и тепловую области электромагнитного спектра. За все время существования спутников на орбите накоплен значительный архив снимков среднего и низкого

разрешения, которые могут применяться для решения различных сельскохозяйственных задач.

Спутники серии SPOT

SPOT представляет собой серию спутников ДЗЗ, разработанных Французским космическим агентством в сотрудничестве с Бельгийским аэрокосмическим агентством и Государственным управлением космических исследований Швеции.

Цель спутников системы SPOT направлена на расширение базы космических снимков для управления земными ресурсами, а так же на мониторинг антропогенных и природных изменений окружающей среды.

С 1986 года спутники SPOT сделали более 10 млн. высококачественных фотографий. Для создания наилучших условий мониторинга за природными процессами, спутники SPOT находятся на постоянной высоте и оснащены идентичными камерами: высокоразрешающей аппаратурой видимого диапазона, сканирующей в панхроматическом и в мультиспектральном режимах. Таким образом, SPOT предоставляют пользователям разновременные космические снимки, выполненные с одинаковой высоты [6].

SPOT 5 был запущен 4 мая 2002 года, SPOT 6 - 9 сентября 2012 года, SPOT 7 - 30 июня 2014 года. В настоящий момент эти спутники функционируют.

Космический аппарат SPOT-6 обладает более высокими возможностями по сравнению со своим предшественниками — космическими аппаратами SPOT 4 и SPOT 5 — он позволяет вести съемку Земли с разрешением до 1,5 м в режиме панхроматической съемки и до 6 м в мультиспектральном режиме.

SPOT-6 и 7 — два идентичных по характеристикам оптических космических аппарата данных дистанционного зондирования высокого разрешения. SPOT-6 и -7 способны ежедневно производить съемку до 3 млн.км². Их основные технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 Основные технические характеристики съемочной аппаратуры космического аппарата SPOT-6 и SPOT-7 [13]

Режим съемки	Панхроматический	Мультиспектральный
Спектральный диапазон, мкм	0,48–0,71	Синий: 0,45–0,52 Зеленый: 0,50–0,59 Красный: 0,61–0,68 Ближний ИК: 0,78–0,89
Пространственное разрешение	2	8
Ширина полосы обзора, км	60	
Периодичность съемки	1–3 суток	

Космические снимки позволяют решать задачи комплексного и специализированного управления сельскохозяйственными территориями. Актуальными задачами в этой области являются: инвентаризация сельскохозяйственных угодий, контроль состояния посевов на полях, выделение участков эрозии, заболачивания, засоленности и опустынивания, мониторинг качества урожая и своевременности проведения различных сельскохозяйственных мероприятий. Регулярная съемка позволяет проводить наблюдения за динамикой развития сельскохозяйственных культур и составлять прогнозы урожайности. Имея представление о том, как изменяется спектральная яркость растений в течение вегетационного периода, можно по тону изображения полей судить об их состоянии. После зимовки состояние озимых культур оценивается по различию в цвете здоровых и погибших растений, состояние озимых и яровых до уборки урожая - на основе учета степени покрытия почвы всходами и равномерности их распределения.

Предоставление спутниковых снимков высокого разрешения осуществляется на коммерческой основе, что вызывает серьезные затруднения у сельхозпроизводителей. Минимальная цена сцены (100 га) съемки составляет приблизительно 30 долларов США и возрастает с увеличением разрешения снимка. Таким образом, для съемки территории площадью 20 000 га, при минимальной стоимости сцены, цена обеспечения данными ДЗЗ будет составлять порядка 350 000 рублей, что представляет собой внушительную сумму. При этом космические снимки высокого разрешения позволяют

своевременно решать многие задачи, в числе которых исследования гидрологического режима почв, выделение ареалов распространения различных видов растений, мониторинг посевов и прогнозирование урожайности. В России официальными дистрибьюторами являются компании «Сканэкс» и «Совзонд», которые сотрудничают с ведущими странами-поставщиками данных дистанционного зондирования Земли [13].

Альтернативой получения спутниковых снимков являются бесплатные онлайн-сервисы, такие как DigitalGlobe, “Космоснимки“, Google Earth и другие. Так же существуют программы, позволяющие просматривать и сохранять космические снимки. Примером может послужить программа SAS.Planet, созданная проектом SASGIS группы SAS. Проект посвящен созданию свободного доступа к данным дистанционного мониторинга, размещенным в интернете. Программа SAS.Planet распространяется бесплатно и позволяет просматривать карты большого количества картографических online-сервисов. Карты регулярно обновляются, таким образом, программа позволяет пользователям загружать самые актуальные изображения. Одной из важнейших функций программы является возможность сохранения части карты в одно изображение, которое можно просмотреть и обработать в любом графическом редакторе, а также использовать в других ГИС-приложениях [18].

1.2 Применение средств авиации для получения данных дистанционного мониторинга

В целях повышения интенсификации сельскохозяйственного производства одной из перспективных сфер является аэрофотосъемка. Аэрофотосъемка – это процесс фотографирования земной поверхности с самолетов, вертолетов, беспилотных летательных аппаратов и других видов подоблачных летательных аппаратов. Актуальность данного вида съемки обусловлена особенностями сельскохозяйственных культур: они отлично проявляются на снимках, ничем не скрыты, однородны, хорошо

дешифрируются как по текстуре, так и по спектральным характеристикам. Преимуществом аэросъемки является ее оперативность, поскольку разница во времени от момента совершения съемки до момента получения снимка является относительно небольшой по сравнению с получением снимков со спутника. Таким образом, появляется возможность получать самую последнюю и достоверную информацию о состоянии посевов на полях.

Традиционная аэрофотосъемка, которая проводится с помощью самолетов или вертолетов, требует высоких экономических затрат на обслуживание и заправку и все реже используется в сельскохозяйственных целях.

Применение стандартных средств аэрофотосъемки является нерентабельным при съемках малых по площади полей сельскохозяйственного назначения, поскольку затраты на организацию работ, приходящиеся на единицу отснятой площади, существенно превосходят аналогичные показатели при съемке больших площадей (в особенности для объектов, значительно удаленных от аэродрома). Поскольку для прогнозирования урожайности необходимо проведение регулярной съемки, то использование данных аппаратов так же оказывается невыгодным для использования.

Одним из наиболее актуальных методов сбора геопространственной информации в настоящее время является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Отличительной особенностью БПЛА, помимо отсутствия экипажа на борту, является возможность проведения подоблачной съемки.

Полет БПЛА, как правило, производится с крейсерской скоростью 20-30 м/с в диапазоне высот 300-1500 м. Для съемки обычно используются неметрические камеры, позволяющие получать снимки с разрешением 10-20 мегапикселей. Фокусное расстояние камер обычно составляет около 50 мм, что соответствует размеру пикселя на местности от 7 до 35 см [9].

Снимки, полученные путем аэрофотосъемки, обладают более высокой точностью и являются более актуальными по сравнению с космическими

снимками. Однако уступают последним в масштабах охвата территории. Поскольку оба способа получения геопространственных данных являются весьма дорогостоящими, то использование БПЛА будет оправдано в тех случаях, когда необходимо оперативно получить точную информацию о небольшой территории.

Проведение летно-съёмочных работ включает в себя 4 основных этапа [14]:

1. Планирование летно-съёмочных работ. На данном этапе устанавливается маршрут, высота проведения съёмки, количество снимков, максимальное время выдержки, интервалы между экспозициями, количество маршрутов и расстояние между ними. Данные параметры определяются исходя из задач, которые стоят перед агрономами.
2. Проведение аэрофотосъёмки. Она проводится площадным методом путем прокладки прямолинейных параллельных маршрутов. Для сплошной съёмки местности перекрытие снимков между собой (поперечное) должно составлять не менее 60%, а между маршрутами (продольное) – 40%. Необходимо выбрать сроки, которые совпадают с основными фазами развития растений в посевах.
3. Предварительная обработка результатов. Данный этап включает в себя монтаж фотоснимков, а также проверку заданных величин перекрытия между снимками и маршрутами.
4. Создание ортофотоплана и оценка его точности. На данном этапе происходит трансформация полученных фотоснимков и их объединение. Проведение трансформации обусловлено геометрическим искажением первичных изображений, полученных при помощи БПЛА.

Отдельное внимание стоит уделить калибровке камеры, установленной на беспилотном летательном аппарате. Она необходима для определения и

дальнейшего устранения систематических ошибок, которые возникают из-за особенностей используемых аппаратов [2].

Известно два способа калибровки:

1. Калибровка съемочной аппаратуры;
2. Определение систематических ошибок по аэрофотоснимкам.

Калибровка аппаратуры выполняется в лабораторных условиях посредством регистрации условий окружающей среды во время фотосъемки (температура воздуха, атмосферное давление, температура различных частей прибора), расчетов поправок к результатам лабораторных испытаний аппаратуры, фокусного расстояния и координат точек снимков [2].

Определение систематических ошибок фотокамеры по фотоснимкам - калибровка по фотоснимкам. Суть способа заключается в том, что определяются величины, характеризующие центральную проекцию снимков, и уклонение точек фотоснимка от заданной проекции. Параметрами калибровки являются только систематические ошибки снимков, характеризующие их качество во время обработки. В процессе выполнения калибровки снимка из всех источников систематических отклонений от центральной проекции, определяются поправки к элементам внутреннего ориентирования снимков и поправки к координатам каждой точки снимка. Для выбора способа и метода калибровки необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на её проведение и качество полученных результатов [2].

В сельском хозяйстве данный вид съемки позволяет осуществлять непрерывный мониторинг сельскохозяйственных культур, анализировать и контролировать качественные и количественные характеристики посевов (подверженность культур вредителям и болезням, их состояние после перезимовки, плотность и однородность засеянных площадей и пр.). Кроме того, использование беспилотных летательных аппаратов помогает в создании и обновлении электронных карт и планов обрабатываемых земель, позволяет проводить учет земель сельскохозяйственного назначения, планировать посадки, контролировать полевые работы. Данные, полученные при помощи

БПЛА, позволяют оперативно реагировать на изменения состояний возделываемых культур, принимать быстрые решения по проведению необходимых агротехнических мероприятий, что позволяет повысить эффективность сельского хозяйства.

Из основных преимуществ проведения подоблачной съемки с использованием БПЛА можно выделить следующие:

1. Рентабельность;
2. Возможность проведения съемки на небольших высотах и вблизи объектов и, как следствие, получение снимков высокого разрешения;
3. Оперативность получения снимков;
4. Возможность применения в любое время суток и при любых погодных условиях.

Несмотря на вышеперечисленные преимущества использования БПЛА, на сегодняшний день серьезным препятствием их внедрения в сельское хозяйство является отсутствие у большинства организаций практического опыта их использования, а также отсутствие теоретически обоснованных рекомендаций по выбору съемочной аппаратуры для БПЛА и параметров выполняемой с их помощью аэрофотосъемки.

1.3 Использование датчиков и приборов сельскохозяйственной техники

Современное земледелие ориентировано на пространственно-временную оптимизацию условий для продуктивного роста и развития растений. Его задача состоит в осуществлении технологических мероприятий в соответствии с потребностями растений и фитосанитарной ситуации, состояния посевов на каждой элементарной области поля, для чего необходимо составлять подробные карты об элементах питания растений, густоте сорняков, состоянии растений, урожайности и тому подобное. С этими задачами успешно справляются современные информационные технологии, развитие которых

привело к возникновению нового направления в сельском хозяйстве – точного земледелия.

Точное земледелие представляет собой систему согласованных мероприятий по оптимизации условий для развития растений путем дифференцированного внесения удобрений в соответствии с особенностями каждого элементарного участка поля. Оно предполагает осуществление сбора информации о поле, возделываемых культурах, характерных агроклиматических показателях; анализ собранной информации и принятие решений проведения агротехнических мероприятий с их последующей реализацией.

Для реализации системы точного земледелия на сельскохозяйственную технику устанавливаются оптические приборы с бесконтактными датчиками, которые позволяют получать информацию о содержании элементов питания в растениях, что может выступать основой для создания технологических карт-заданий. Преимуществом проведения подобных обследований является возможность проведения работ в условиях тумана и дождя, что является нередким во время весенне-летних и осенних полевых работ.

Большинство решений, принимаемых в процессе возведения сельскохозяйственных культур, основываются на учете урожайности. Полагаясь на данные об урожайности той или иной сельскохозяйственной культуры, землепользователь принимает обоснованные решения о внесении удобрений на конкретные поля и следит за эффективностью проводимых мероприятий. С развитием информационных технологий и устройств появилась возможность использовать зерновые комбайны с целью картирования урожайности. Картирование урожайности представляет собой технологию точного земледелия, основной задачей которой является определение неоднородности показателя урожайности. Реализуется данная технология при помощи специальных датчиков, установленных на зерновых комбайнах, а также бортовых компьютеров и приемников GPS. Карты урожайности можно получать непосредственно в процессе сбора урожая.

Система картирования урожайности для комбайнов Claas

В настоящее время лидером на мировом рынке зерноуборочных комбайнов, позволяющих оценивать урожайность сельскохозяйственных культур, является фирма Claas. Комбайн оснащен датчиком влажности, оптическим датчиком, датчиком продольных и поперечных отклонений, имеет встроенный модуль определения урожайности. В кабине расположен монитор, на который выводится цифровая и графическая информация по таким параметрам как влажность и урожайность сельхоз культуры, уровень заполнения зернового бункера и др. Комбайны также могут быть оснащены системой картирования урожая [12].

Система картирования урожайности для комбайнов John Deere

Для комбайнов John Deere разработана система картирования урожайности GreenStar Harvest Doc, позволяющая проводить мониторинг изменения показателей влажности и урожайности на полях. Система картирования урожайности GreenStar Harvest Doc содержит: навигационную систему StarFire iTC; дисплей; мобильный процессор; ключевую карту; установочный набор системы GreenStar для комбайнов John Deere; кабели для стыковки модулей системы с проводкой комбайна; карты памяти PCMCIA; проводку GreenStar; датчики массы и влажности; бортовой принтер для распечатки чеков [12].

Приемник сигналов GPS с орбитальной спутниковой группировки в реальном времени способствует получению показаний датчиков урожайности для создания электронной карты. В результате создаются цифровая карта урожайности, которая включает данные, полученные со всех комбайнов, оснащенных бортовым компонентом системы.

Можно выделить следующий порядок замеров урожайности:

1. Подготовка задания с указанием заказчика, убираемой культуры и технических деталей.
2. Калибровка датчиков.

3. Перенос задания на чип-карту с его последующей активацией в бортовом компьютере комбайна.
4. Уборка урожая.
5. Сохранение выполненного задания на чип-карте.
6. Обработка полученных замеров на стационарном компьютере.

На основе данных об урожайности поля составляется карта, которая позволяет увидеть участки поля с уплотнением почвы, определять дефицит удобрений в зонах с низкой урожайностью, а также распознать участки, пораженные паразитами и сорняками. Следующим этапом выступает создание технологической карты, на которой указаны участки поля, нуждающиеся в дифференцированном внесении удобрений, средств защиты сельскохозяйственных культур, семян.

На урожайность оказывают влияние различные факторы и их совокупности. Выделяют природные факторы, оказывающие влияние на неравномерность урожая. К ним относятся частота и количество осадков, температура, солнечная радиация, дренаж, физические и химические свойства почвы, зараженность вредителями и другие. А также факторы, вызванные управленческими решениями: выбор сорта сельскохозяйственной культуры, густота сеяния, внесение удобрений, ошибки в поливах. Поэтому, прежде всего, необходимо установить первопричину изменения показателя урожайности. Именно анализ динамики изменчивости урожайности на конкретных полях позволяет определять факторы, вызвавшие изменения, и вносить корректировки в технологию возделывания сельскохозяйственных культур, позволяя тем самым повышать урожайность на полях.

Таким образом, данные дистанционного мониторинга могут быть получены с использованием космических спутников, средств авиации и датчиков сельскохозяйственной техники. Несмотря на разнообразие способов получения ДДЗ, использование каждого из них позволяет количественно оценивать площади, занятые сельскохозяйственными культурами, определять фазы развития растений, проблемы состояния посевов (неравномерность

созревания, заражение вредителями и болезнями, недостаток питательных веществ, гибель от неблагоприятных метеорологических условий), что представляет собой важные показатели для прогнозирования урожайности.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

2.1 Использование вегетационных индексов для прогнозирования урожайности

Оценка состояния растительного покрова может быть проведена на основе спектральной отражательной способности растений, которая характеризуется различиями в отражении излучения различных длин волн. Знание о связи структуры и состояния растительности с ее отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Спектральную информацию интерпретируют в виде так называемых «индексных» изображений. Они строятся на основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта. Каждый пиксель изображения несет в себе информацию о значении индекса, позволяющую на основе этих показателей оценивать состояние растительного покрова по определенным характеристикам в интересующей пользователя области. Спектральные индексы, используемые для оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов.

В настоящее время рассчитано около 160 вариантов вегетационных индексов, среди которых выделяют группы, позволяющие оценить определенные показатели состояния растительности [17].

Индексы группы Broadband Greenness используются для определения площадей, покрытых растительностью, мониторинга растительного покрова, определения урожайности и составления карт. Расчет можно проводить, используя снимки любого разрешения, имеющие спектральные каналы в красной (0,60 - 0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75 - 1,3 мкм) зонах [17].

Группа индексов Narrowband Greenness используется для оценки состояния растительности и отражает ее общее количество. Отличительной особенностью является расчет значений коэффициентов на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм. Преимуществом является обнаружение самых незначительных изменений в состоянии растительного покрова. Расчет производится только при использовании гиперспектральных снимков [17].

Light Use Efficiency – индексы, позволяющие оценить эффективность использования света растениями для процессов фотосинтеза. С помощью индексов данной группы оценивается рост и продуктивность растений [17].

Canopy Nitrogen – индекс, который определяет содержания азота в растениях. Быстрорастущая растительность характеризуется высокими показателями содержания азота, в то время, как при низких концентрациях листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR) [17].

Индексы Dry or Senescent Carbon разработаны для учета общего количества «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR). Широко используются при оценке пожароопасности на территории [17].

Leaf Pigments – индексы, отражающие содержание пигментов каротиноидов и антоцианинов, которые наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. В сельском хозяйстве индексы данной группы применяются для мониторинга состояния растительности, определения стрессовых участков полей, а так же для прогнозирования. Для их расчета используются данные в узких спектральных зонах видимого диапазона [17].

Canopy Water Content – индексы, отражающие содержание влаги в растениях. Для расчетов индексов используется ближний и средний инфракрасный диапазоны. Индексы широко применяются при оценке пожаропасности на территории вместе с индексами группы Dry or Senescent Carbon [17].

Рассчитываются вегетационные по значениям двух наиболее стабильных участков кривой спектральной отражательной способности растений. Красная зона спектра (0,62 - 0,75 мкм) характеризуется максимальными значениями поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону спектра (0,75 - 1,3 мкм) приходится максимум отражения энергии клеточной структурой листа. Таким образом, низкая фотосинтетическая активность приводит к более высоким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и меньшим значениям в ближней позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

Наиболее известным вегетационным индексом является NDVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный разностный индекс растительности является наиболее распространенным в использовании. Он представляет собой простой графический индикатор, который используется для оценки количественных и качественных характеристик растительного покрова.

Благодаря наличию хлорофилла в клетках зеленых растений, они способны поглощать солнечную радиацию в спектральной области фотосинтетической активной радиации (от 0,4 до 0,7 мкм), которая используется как источник энергии в процессе фотосинтеза. Клетки растений также способны отражать солнечное излучение в ближней инфракрасной области спектра (от 0,7 до 1,1 мкм). То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной.

Индекс вычисляется по следующей формуле (1):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

Где NIR - коэффициент отражения в ближней инфракрасной области спектра;

RED - коэффициент отражения в красной области спектра.

Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительность от прочих природных объектов. Использование же 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 пр.

Значение NDVI изменяется в течение всего сезона в зависимости от стадии развития растения. Начало вегетационного периода характеризуется увеличением значения индекса, которое, достигая своего пика в момент цветения, останавливается. Затем по мере созревания, значение NDVI снижается. Стоит отметить, что скорость развития биомассы меняется в зависимости от погодных условий, плодородия почв и технологий возделывания посевов. Поэтому среднее значение NDVI на поле позволяют проводить сравнение состояния возделываемых культур во время вегетации: на одних полях посевы развиваются быстрее (лучше), на других – медленнее (хуже).

Для точного прогнозирования урожайности необходимо брать в расчет значение NDVI, приходящееся на момент пика его созревания, то есть максимальное значение. Так, при интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы, значение NDVI во время пика достигает значений 0,80–0,88, оно обычно приходится на момент начала фазы колошения. Зная потенциальную урожайность сорта, можно составлять прогноз при каком значении индекса NDVI урожайность будет максимальной для данного сорта. Значение NDVI 0,60–0,65 в фазу колошения озимой пшеницы говорит о том, что урожайность будет ниже максимальной на 25–30 %. Это обусловлено взаимосвязью NDVI с зеленой биомассой растений, процентная часть которой является показателем урожайности [11].

Таким образом, для прогнозирования урожайности необходимо владеть информацией о максимальной потенциальной урожайности возделываемого сорта сельскохозяйственной культуры, а так же учитывать значение индекса NDVI в фазу колошения для зерновых или в фазу максимального развития листьев для всех остальных культур.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм). Стоит отметить, что рассчитать его можно с помощью программного обеспечения, имеющего встроенный модуль расчета индекса. Алгоритм расчета NDVI встроен практически во все распространенные пакеты программного обеспечения, связанные с обработкой данных дистанционного зондирования (ArcView Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView и др.).

Однако необходимо принимать во внимание тот факт, что данные NDVI являются непригодными в использовании без проведения радиометрической коррекции. Использование улучшенных коэффициентов в совокупности с разновременными композитными изображениями позволит частично скорректировать погрешности, обусловленные влиянием погодных условий (сильная облачность, дымка). Усредненные значения позволяют избежать влияния случайных и некоторых систематических погрешностей. Как показывает практика, это очень часто применяемый подход для подготовки данных для создания карт NDVI.

Для эффективности использования NDVI при расчетах продуктивности и других количественных показателей необходимо проводить сравнения полученных значений NDVI с предварительно собранными данными тестовых участков, в которых обязательно должны быть учтены сезонные эколого-климатические показатели, как самого снимка, так и тестовых площадок на момент сбора данных.

Так же одним из недостатков данного индекса является возможность использования данных съемки только время вегетационного периода исследуемых растений. Это обусловлено тем, что NDVI привязан к количеству фотосинтезирующей биомассы и является неэффективным на снимках, полученных в сезон ослабленной или невегетирующей в этот период растительности.

Следует принимать во внимание тот факт, что значения получаемых вегетационных индексов зависят от характеристик сенсора (пространственное и спектральное разрешения), освещенности и условий съемки, поэтому они не могут давать абсолютных количественных показателей исследуемых характеристик растительности. Для точности их интерпретации необходимо привлекать данные полевых измерений.

2.2 Программное обеспечение

2.2.1 ArcGIS

Программное обеспечение ArcGIS позволяет производить комплексную обработку данных дистанционного зондирования, выполнять фотограмметрические функции для решения прикладных задач в различных отраслях народного хозяйства. В сельском хозяйстве примером может служить система мониторинга состояния посевов, которая предоставляет пользователям оперативную информацию о состоянии посевов и показывает тренды их развития во времени.

При создании системы готовые компоненты, входящие в платформу ArcGIS, позволили значительно сократить объем разработки и создать эффективную систему, опирающуюся на настольные и серверные части программы.

В качестве входных источников информации для системы используются табличные данные о полях из 1С, SAP или Excel, которые имеют привязку к геометрическим границам, отображенным на цифровой карте. Этот этап позволяет получать информационно-справочную систему с возможностью ретроспективного анализа использования сельскохозяйственных земель. Далее к системе подключаются метеоданные, которые предоставляют информацию о температуре и влажности в отдельных узлах сетки, а благодаря инструментам ArcGIS они интерполируются на каждое поле. Метеоинформация сохраняется в корпоративной базе геоданных для дальнейшего ретроспективного анализа. Для мониторинга состояния растительного покрова применяются космические снимки, в том числе бесплатные изображения спутниковых систем Landsat, MODIS, Sentinel и их различные совместные композиты [1].

Благодаря применению расчетных алгоритмов ArcGIS, обработка снимков выполняется в автоматическом режиме, а пользователь получает уже готовые показатели, которые предоставляются через стандартный браузер или мобильное приложение. За счет автоматической обработки снимков сокращается ручной труд по таким операциям, как поиск новых снимков в интернет-каталоге, отсеивание облачных снимков, скачивание снимков и их предварительная обработка, тематическая обработка, сохранение результатов и вычисление пространственной статистики [1].

ArcGIS также предоставляет возможность создавать ортомозаики, 2D и 3D карты на основе данных и фотоснимков, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов, по результатам инспекций и мониторинга.

Снимки с БПЛА являются информативным источником данных дистанционного мониторинга, и их использование так же возможно в ArcGIS. Разработчиками было создано настольное приложение Drone2Map for ArcGIS. Снимок может быть получен с использованием любой мтерической или

неметрической камеры, главным условием его обработки в приложении является фиксация координат центра кадра [1].

Благодаря приложению Drone2Map for ArcGIS может быть создано несколько видов продукции на основе наклонных снимков с летательного аппарата. Преимуществом является возможность проведения обработки снимков прямо в поле с использованием ускоренного метода обработки. Это помогает определить необходимость проведения дополнительного залета. Далее выполняется полноценная обработка, в результате которой можно создать следующие виды продукции: ортофотомозаики, цифровые модели местности, текстурированные 3D-модели объектов; при использовании мультиспектральной камеры возможно получить карты вегетационного индекса (NDVI) с шагом до нескольких сантиметров [1].

2.2.2 ENVI

ENVI - программная система, обеспечивающая всестороннюю визуализацию данных и анализ изображений любого размера и любого типа.

ENVI лицензирован ведущими операторами космических данных, поэтому обеспечивает поддержку данных ДЗЗ, получаемых со спутников WorldView-1, QuickBird, ALOS, IKONOS, OrbView, CARTOSAT-1, FORMOSAT-2, RESOURCESAT, SPOT, IRS, Landsat и др. Кроме того, программный комплекс поддерживает широкий диапазон растровых и векторных форматов наиболее распространенных геоинформационных систем, таких как ArcView, ArcInfo, MapInfo и многих др.

Удобный визуальный интерфейс ENVI дополняется большой библиотекой алгоритмов обработки. ENVI включает все основные функции обработки изображений в рамках графического интерфейса пользователя.

Эти функции включают преобразование данных, фильтрацию, классификацию, регистрацию и геометрическую коррекцию, инструменты спектрального анализа, и средства работы с радиолокационными

изображениями. Программа позволяет использовать многоспектральные или гиперспектральные массивы данных, поскольку ENVI не создает ограничений на количество спектральных диапазонов, которые могут быть обработаны.

Одним из основных преимуществ ENVI является его уникальный подход к отображению процесса обработки, в котором комбинируются файловые и многоканальные методы с интерактивными функциями. Когда открыт файл ввода данных, каналные субфайлы, входящих в его состав, хранятся в списке, где к ним можно обращаться с использованием всех функций системы. Если открыто много файлов, спектральные изображения различных типов могут обрабатываться как группа. Группа окон изменяемого размера на экране дисплея ENVI состоит из основного окна изображения, окна масштабирования, и окна прокрутки.

ENVI обеспечивает пользователей многими уникальными возможностями интерактивного анализа, которые доступны внутри этих окон. Программа предоставляет пользователям различные способы просмотра многомерных данных.

ENVI включает в себя модуль атмосферной коррекции ENVI ACM, который позволяет получать достоверное представление конкретной сцены изображения. Это гибкое решение предлагает как передовые детальные методы коррекции, так и более простые методы, позволяющие проводить атмосферную коррекцию в режиме реального времени. Модуль производит работу с мультиспектральными и гиперспектральными данными.

Для решения задач сельскохозяйственного производства ENVI предоставляет пользователям специализированные инструменты обработки данных.

ENVI Crop Science позволяет проводить анализ мультиспектральных данных для предоставления наиболее полной и достоверной информации о реальном состоянии сельскохозяйственных культур на полях. Преимуществом данного продукта является простота его использования. Он предоставляет

пользователям алгоритмы отраслевых изменений на посевных площадях, что позволяет максимизировать доходы и минимизировать потери.

Инструмент Hotspot Analysis, используя статистический геопространственный анализ, позволяет определить области поля, которые требуют больше внимания, чем другие. Результаты анализа предоставляют пользователю информацию, необходимую для принятия решений о проведении соответствующих агротехнических мероприятий. Таким образом, удобрения и пестициды не будут внесены на те участки полей, которые в них не нуждаются.

С помощью инструмента Crop Counting – счетчика урожайности, пользователи могут получать данные о количестве, точном местоположении и размерах отдельных растений в поле, что позволяет прогнозировать урожайность. Инструмент Crop Health Analysis используется для оценки состояния отдельных растений и визуализирует эти значения по отношению к другим растениям или воспроизводит данные в абсолютных величинах.

2.2.3 Панорама-АГРО

Для оптимизации затрат на сельскохозяйственное производство, повышения урожайности и качества продукции необходимо принимать во внимание факторы, оказывающие влияние на посевы. На каждом сельскохозяйственном участке существуют как относительно стабильные, так и динамические, сменные агрономические факторы. К первым относятся условия рельефа, почв, гидрогеологии. Ко вторым - текущая климатическая и фитосанитарная обстановка.

Панорама-АГРО предназначена для информационного обеспечения процесса управления сельскохозяйственным производством с учетом обоих факторов. Программа так же имеет встроенный блок мониторинга техники хозяйства, который позволяет обеспечивать автоматизированный сбор сведений о проведенных агротехнических мероприятиях [10].

Агротехническое планирование работ включает в себя следующие этапы:

1. Оценка потенциальных возможностей производственной деятельности хозяйств (кадров и земельных ресурсов) их текущей и потенциальной эффективности;
2. Измерение полей путем объезда по контуру с высокоточным GPS-оборудованием;
3. Составление структуры посевных площадей и севооборотов в формате векторной электронной карты;
4. Расчет потребности в технике и оборудовании;
5. Экономический анализ при минимальном и максимальном уровнях урожайности стабильно возможных для конкретных условий.

Электронные карты полей имеют общую проекцию и единую систему координат. В результате проводится точная географическая привязка почвенных контуров, сочетание почвенных контуров с соответствующими им формами рельефа. Привязку начинают с сети гидрографии, овражно-балочной комплекса, часто дополняют дорожной сетью и другими объектами, которые хорошо выделяются на грунтовой карте и картографической основе [10].

По данным космических снимков проверяют наличие элементарной почвенной структуры на каждом выделенном на грунтовой карте контуре.

Компоненты почвенной структуры имеют разный тон изображения и создают своеобразный рисунок изображения, по которому можно посчитать состав компонентов. Компонентный состав определяют исходя из принадлежности территории в район почвенно-географического районирования и установления причины возникновения почвенной структуры (эрозия, солонцеватость почв и др.) Для этого анализируют формы, размеры компонентов элементов почвенной структуры, приуроченность ее к мезорельефа, генезис почвообразующих пород и другие сведения содержатся в литературных источниках и отчетах предыдущих исследований.

В результате электронная карта полей содержит всю необходимую информацию для принятия проектных решений по размещению сельскохозяйственных культур, дифференциации технологий их обработки при

различных уровнях интенсификации производства, оптимальной организации территории с учетом ландшафтных связей в целях повышения урожайности.

Программа так же позволяет обрабатывать мультиспектральные снимки, что позволяет контролировать всхожесть культур, прогнозировать характеристики урожайности [10].

Специалистам сельского хозяйства предлагается удобный механизм для накопления данных и ведения истории полей с привязкой урожая к конкретному году. Средства анализа позволяют выполнять пространственные и логические запросы к данным, формировать выборки и отчеты. Накопление данных с привязкой к году урожая обеспечивает ретроспективный анализ информации, а средства трехмерной графики, ее наглядное представление.

2.3 Сервис ВЕГА

Спутниковый сервис ВЕГА разработан в ИКИ РАН в 2011 году. Целью создания стало предоставление возможности проведения оперативного анализа растительности. В основе сервиса заложены архивные данные о состоянии растительности на территории России и близлежащих стран, полученные со спутниковых систем. Кроме того, ВЕГА, помимо собственного архива данных, позволяет в режиме онлайн работать со спутниковой информацией, которая находится в свободном доступе, в том числе и предоставляемой геопорталом Роскосмоса. Данные, полученные таким образом, можно не только просматривать, но и проводить их обработку, используя все возможности сервиса ВЕГА [5].

Особое внимание стоит уделить возможности использовать не только исходные спутниковые изображения, но и очищенными от шумов и влияния облачности временными композитами, что делает возможным проведение анализа временной динамики растительного покрова. Для создания таких продуктов были разработаны полностью автоматизированные методы обработки данных, позволившие как сформировать долговременные архивы

однородных данных, так и обеспечить постоянное автоматическое обновление информации. В системе имеется возможность работы с не реже, чем ежегодно обновляющимися картами растительного покрова, в том числе с картами растительного покрова, картами пахотных земель, картами земель, занятых озимыми культурами, картами земель, занятых парами и др. [5].

Система ВЕГА имеет полностью автоматизированные процедуры обработки данных на всех уровнях, что делает ее использование простым, а информацию, получаемую таким образом, объективной.

Пользователь имеет возможность просматривать карты NDVI и снимков Landsat, для которых в системе хранятся текущие и архивные данные, получать доступ к статистическим данным по отдельным регионам.

Для выбранных полей пользователь может получить следующую информацию [15]:

- Изменение значений индекса NDVI во времени;
- Данные о типе возводимой сельскохозяйственной культуры;
- Средние температуры с динамикой их изменения во времени;
- Показатели осадков и их суммы с динамикой изменения во времени;
- Временной ход солнечной радиации;
- Информация для оценки наличия снежного покрова.

Для работы с вышеперечисленной информацией организованы специализированные web-интерфейсы. Информация также может быть сохранена в табличном виде для экспорта в ГИС пользователя в согласованных форматах.

Специализированные Web-интерфейсы позволяют [15]:

- Проводить сравнение различных перечисленных текущих параметров с данными предыдущих сезонов (на выбор пользователя) или со средними многолетними значениями.
- Проводить сравнение состояния посевов в пространстве (например, на соседних полях, или на полях одного хозяйства, или на любых двух выбранных пользователем полях).

- Анализировать информацию в графическом виде или в виде картограмм.
- Оперативно получать информацию о территориях, на которых актуальное значение указанных выше параметров существенно отклоняется от среднегодовых.

В качестве дополнительных опций пользователь может воспользоваться возможностью создания модели прогнозирования урожайности (при наличии статистических данных урожайности за последние 10 лет), оценки эффективной продуктивности отдельных полей и другими.

В заключении главы можно подвести следующие итоги: оценку состояния растительности проводят с использованием аэрокосмических снимков на основе данных о ее спектральной отражательной способности. Владея информацией о связи структуры и состояния растительности с ее отражательными способностями, появляется возможность рассчитывать вегетационные индексы, которые используются для создания индексных изображений. На их основе можно производить идентификацию типов растительности и определение их стрессового состояния. Существует широкий спектр программного обеспечения, позволяющего интерпретировать полученную информацию в интересах задач сельскохозяйственного производства. Отдельно стоит отметить существование специализированных сервисов и модулей ГИС, благодаря которым использование и обработка данных значительно упрощается.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОСЕВОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

3.1 Сравнительный анализ использования данных, полученных с использованием БПЛА, и спутниковых снимков

Для анализа состояния растительности и прогнозирования урожайности используются мультиспектральные, гиперспектральные и радиолокационные снимки. Они могут быть получены как с помощью спутников, так и с использованием средств авиации. Благодаря правильной интерпретации полученных снимков появляется возможность оценить состояния посевов по различным параметрам, составлять карты урожайности и проектировать планы мероприятий по ее повышению.

Съемка с применением БПЛА позволяет оперативно получать высокодетализированную информацию о ситуации на полях. На БПЛА могут быть установлены различные типы камер. Так, при использовании мультиспектральной камеры и установленных рядом неметрических фотокамер можно составлять ортофотопланы, производить привязку мультиспектральных снимков и разрабатывать индексные карты. Возможны так же сочетания нескольких мультиспектральных камер или нескольких гиперспектральных, единственным ограничением являются размеры и вес используемого оборудования.

В конструкцию мультиспектральных датчиков входят оптические элементы, воспринимающие красный, зеленый или ближний инфракрасный канал, блокируя другие. В результате получают снимки в заданных зонах спектра, по которым формируются цветные спектрзональные изображения с максимальным цветовым контрастом интересующих пользователя объектов, и вычисляют индексы, характеризующие состояние почв, растительности или ландшафта в целом. Выпускают как полноцветные камеры (RGB), так и

спектральные, работающие в красном (RE) и инфракрасном (NIR) диапазонах. Снимки, полученные с помощью БПЛА в видимом (Приложение А) и инфракрасном (Приложение Б) диапазонах позволяют проследить разновременную динамику изменения состояния посевов.

Гиперспектральная камера разделяет отраженный от объекта свет на узкие спектральные полосы, обрабатывает их отдельно и фиксирует спектральную характеристику каждого пикселя получаемой картинки. Такие характеристики значительно информативней обычного RGB-снимка, изображения, видимого человеческим глазом, и также снимка, получаемого при помощи мультиспектральных камер. Однако применение данного типа камер на БПЛА еще только начинает развиваться.

Анализ снимков, полученных при помощи БПЛА, позволяет определять качественные и количественные характеристики посевов, выявлять участки, пораженные болезнями и вредителями, оперативно принимать решения по проведению необходимых агротехнических мероприятий, что позволяет повысить эффективность сельского хозяйства.

Спутниковые снимки, аналогично аэрофотоснимкам, позволяют давать оценку состояния растительности и составлять прогнозы урожайности. На основе мультиспектральных данных могут быть построены различные карты, такие как карты оценки интенсивности вегетации, карты содержания азота в листьях растений, карты интенсивности поглощения фотосинтетической активности и другие.

Особенностью космических снимков является их высокая обзорность. Однако стоит отметить, что из-за облачности не всегда предоставляется возможным получить данные интересующей пользователя территории. Альтернативой могут стать радиолокационные снимки, использование которых для мониторинга сельского хозяйства пока не получило широкого распространения. Результаты исследования [3] показали, что радиолокационные снимки не зависят от облачности и освещенности, поэтому съемка может проводиться регулярно с необходимой периодичностью.

С точки зрения пространственного разрешения спутниковые снимки, предоставляемые в свободном доступе ежедневно, имеют низкое пространственное разрешение, что снижает точность анализа состояния растительности на небольших сельскохозяйственных угодьях (Приложение В).

Таким образом, мы имеем следующие преимущества и недостатки рассмотренных средств получения данных дистанционного мониторинга:

Для беспилотных летательных аппаратов:

- + Оперативность получения данных;
- + Высокое пространственное разрешение вплоть до нескольких сантиметров в зависимости от высоты проведения съемки;
- + Независимость проведения съемки от наличия облачности;
- + Возможность получения снимков в видимом и мультиспектральном диапазонах;
- Нерентабельность использования для больших площадей;
- Невозможность проведения съемки в сильный ветер;
- Чувствительность метода к условиям освещенности в момент съёмки: пассивные камеры по сравнению с активными датчиками всегда дают искаженный результат, следовательно, существует необходимость ввода поправочных коэффициентов, в разных условиях они будут разными;
- Необходимость небольших сшивки фрагментов в один массив.

Для спутниковых систем:

- + Оперативность: бесплатно поставляемые снимки низкого разрешения обновляются ежедневно (MODIS, разрешение 250 м), более высокого разрешения – 1 раз в 16 дней (Landsat, разрешение 30 м);
- + Возможность покрытия одним снимком больших площадей;
- + Независимость проведения съемки от метеоусловий;
- + Наличие архивных снимков, что позволяет проводить временной анализ изменения характеристик растительности;
- Низкое пространственное разрешение: 30–250 м; снимки более высокого разрешения (1–6 м) бесплатно не поставляются;

- Потеря информации и искажение за счёт атмосферных явлений: снимки, полученные в облачную погоду, не дают необходимой информации.

Выбор съемки для проведения сельскохозяйственного мониторинга зависит от задач, которые стоят перед землепользователями. Для мониторинга небольших сельскохозяйственных полей наиболее оправдано будет использование подоблачной съемки, а именно съемки с БПЛА. Поскольку бесплатные космические снимки, поставляемые ежедневно, имеют низкое пространственное разрешение, а изображения высокого качества обновляются 1 раз в 16 дней, они не позволяют в полной мере проследить динамику изменения состояния растительности на полях небольшой площади. Приобретение снимков высокого качества будет так же нерентабельно для мониторинга малых площадей. Главным преимуществом использования БПЛА является отсутствие облачности на полученных снимках, однако ограничением будут являться погодные условия.

Данные спутниковой съемки будет эффективным для обследования крупных посевных площадей, поскольку один космический снимок покрывает большую по площади территорию. Съемка проводится независимо от погодных условий, что обеспечивает регулярное поступление данных дистанционного зондирования. Однако стоит принимать во внимание, что снимки, на которых присутствуют облака, не дают необходимой информации.

3.2 Использование данных датчиков сельскохозяйственной техники для анализа посевов и прогнозирования урожайности

Использование аппаратно-программных комплексов, установленных на комбайнах, позволяет получать данные о влажности и урожайности посевов на полях и составлять карты на основе полученных данных (Приложение Г). Анализ карты урожайности поля предоставляет возможность давать оценку состояния посевов. Она позволяет определить:

- недостаток удобрений в пятнах с низкой урожайностью;

- проблемные зоны, имеющие уплотнение почвы;
- проблемные зоны с плохим дренажом;
- зоны, пораженные сорняками и паразитами.

Данные об урожайности можно использовать совместно с данными аэрокосмической съемки, что позволяет повысить точность построения электронных карт полей (Приложение Д).

Учеными Агрофизического института была разработана методика и комплекс оборудования для определения неоднородности полей. После создания электронного контура поля и деления его на элементарные участки, мобильный комплекс проходит заданный маршрут и производит отбор проб почв на каждом элементарном участке. Далее по каждой из проб проводится анализ в химических лабораториях, полученные результаты фиксируются в таблицах для каждой точки, имеющей свои координаты. На основе полученных данных составляется карта-задание для дифференцированного внесения азотных удобрений. Данный метод ведения сельского хозяйства позволяет повышать показатели урожайности и качество урожая, а так же снижать антропогенную нагрузку на поля.

На комбайны могут быть установлены оптические датчики, излучающие красные и ближние инфракрасные лучи, которые, отражаясь от растений, попадают на фотодиод, расположенный в головной части датчика. Таким образом, для каждого элементарного участка поля измеряется вегетационный индекс NDVI, который может быть использован для прогнозирования урожайности.

Значение показателя NDVI может использоваться как показатель уровня минерального питания, влагообеспеченности, он так же позволяет идентифицировать растительность по видам и типам и определять темп формирования биомассы растений [7]. Сферами его использования являются картирование растительного покрова, мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности.

Для оценки возможности использования индекса NDVI в качестве объекта исследования был выбран агроэкологический стационар Меньковской опытной станции Агрофизического института. Руководством АФИ были предоставлены отчеты, содержащие в себе информацию о значениях NDVI ячменя и озимой ржи за 2015-2016 гг. и их урожайности на каждом из полей. Вегетационные индексы были измерены на 6 полях за 9 временных срезов в период с 26 мая по 14 июля, результаты получены с помощью ручного оптического датчика с активным источником излучения GreenSeeker от Trimble, который может быть установлен на сельскохозяйственную технику. К основным преимуществам использования подобных приборов можно отнести следующие:

- Независимость от погодных условий: низкие температуры воздуха, облачность и ветер не влияют на результат измерения NDVI. Единственным ограничением является дождливая погода, поскольку показания нельзя снимать с мокрых растений.
- Оперативность: данные о значении NDVI автоматически высвечиваются на дисплее.
- Отсутствие искажений: датчик с активным источником излучения позволяет получать данные в любое время суток без искажений.

В течение вегетационного периода сельскохозяйственные культуры проходят определенные фазы роста и развития. При этом наблюдается различная степень поглощения и отражения световой энергии и ИК-спектра как для каждой отдельно взятой фазы развития, так и для различных типов и видов культур. Чтобы проверить эту гипотезу, были рассчитаны усредненные значения вегетационных индексов для озимой ржи и ячменя за 9 дат по 6 полям за 2015 год. Данные динамики NDVI представлены на рисунке 1.

Список использованной литературы

1. Булавицкий В.Ф. Фотограмметрия и дистанционное зондирование территории [Текст]: учеб. пособие / В.Ф. Булавицкий, Н. В. Жукова. - Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. - 113 с.
2. Герасимов С.И., Костин В.И. Калибровка неметрических цифровых фото- и видеокамер для фотограмметрических измерений [Текст]: пособие для студентов вузов / Герасимов С.И., Костин В.И. // Саратов. – 2015. – С. 71.
3. Кантемиров Ю.И., Семёнов В.Н. Возможности спутникового радиолокационного мониторинга для решения задач сельского хозяйства [Электронный ресурс]: статья / Кантемиров Ю.И., Семёнов В.Н. // Геоматика. – 2011. - №2. - С. 85-89. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22298224_79209420.pdf (Дата обращения 27.05.2017)
4. КуССуль Н.Н. Регрессионные модели прогнозирования урожайности зерновых в Украине по спутниковым данным различной природы [Электронный ресурс]: статья / КуССуль Н.Н. [и др.] // Наукові праці ДонНТУ, Серія: “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”. – 2013. - № 1 (17). – С. 94-101. URL: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/bitstream/123456789/29679/1/Kussul.pdf> (Дата обращения: 18.03.2017)
5. Лупян Е.А. Использование спутникового сервиса Вега в региональных системах дистанционного мониторинга [Электронный ресурс]: статья / Лупян Е.А. [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2014. - Т. 11. - №. 3. - С. 215-232. URL: http://d33.infospace.ru/d33_conf/sb2014t3/215-232.pdf (Дата обращения: 12.04.2017)

6. Малинников В.А. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами [Текст]: Учебное пособие для студентов вузов / Малинников В.А. [и др.]. – М.: Изд. МИИГАиК. 2008 г., 145 с.
7. Нагорный В.Д. Определение и мониторинг продуктивного потенциала сельскохозяйственных земель [текст]: статья / Нагорный В.Д. // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». – 2011. - №1. – С. 68.75.
8. Новохатин В.В. ГИС-технологии в оценке и прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур [Текст]: статья / Новохатин В.В., Чубарева И.С. // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. – Выпуск №4. – С. 168-176.
9. Сечин А.Ю. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 2) [Электронный ресурс]: статья / Сечин А.Ю. [и др.] // «Ракурс», Москва, Россия, 2011. URL: http://www.racurs.ru/www_download/articles/UAV_2.pdf (Дата обращения: 16.02.2017)
10. Сонько С.П., Косенко Ю.Ю. Геоинформационные системы в охране окружающей среды, сельском и лесном хозяйстве [текст]: методич. пособие / Сонько С.П., Косенко Ю.Ю. // Уманский национальный университет садоводства. – 2013. – С. 98.
11. Терехин Э. А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса (NDVI) для детектирования и анализа состояния посевов сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]: статья / Терехин Э. А. // Научный журнал: Исследование Земли из космоса. – 2015. URL: <http://naukarus.com/otsenka-sezonnyh-znacheniy-vegetatsionnogo-indekса-ndvi-dlya-detektirovaniya-i-analiza-sostoyaniya-posevov-selskohozyayst> (Дата обращения: 30.04.2017)
12. Труфляк Е. В. Картирование урожайности [Текст]: Методическое пособие / Е. В. Труфляк // Краснодар : КубГАУ, 2016. – 13 с.
13. Уфимцев А. Е. Использование данных дистанционного зондирования земли при организации рационального землепользования [Текст]:

статья / Уфимцев А. Е., Ермак А. А. // Вестник Югорского государственного университета. - 2014. - Выпуск 3 (34). - С. 70–73.

14. Якушев В.П. Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева [Текст]: практическое пособие / Якушев В.П. [и др.] // СПб. - 2010. – С.59.

15. ВЕГА-PRO Спутниковый сервис анализа вегетации // Оперативный мониторинг посевов сельскохозяйственных культур региона по спутниковым данным: Сайт ВЕГА-PRO Спутниковый сервис анализа вегетации. URL: <http://pro-vega.ru/products.sht> (Дата обращения 14.04.2017)

16. ФГУП «Организация «АГАТ» [Электронный ресурс]: статья «Роскосмос и Минсельхоз России: соглашение о взаимодействии», 2016. URL: <http://agat-roscosmos.ru/novosti-otechestvennih-smi/roskosmos-i-minselhoz-rossii-soglashenie-o-vzaimodejstvii-654/> (Дата обращения: 22.02.2017)

17. Mapexpert // Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование: Сайт Mapexpert. URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news (Дата обращения: 25.02.2017)

18. SASGIS Веб-картография и навигация // SAS.Планета: Сайт SASGIS Веб-картография и навигация. URL: <http://sasgis.ru/sasplaneta/> (Дата обращения: 26.03.2017)



Рисунок 4 – Снимок с БПЛА в видимом диапазоне (материалы предоставлены руководством Агрофизического НИИ)

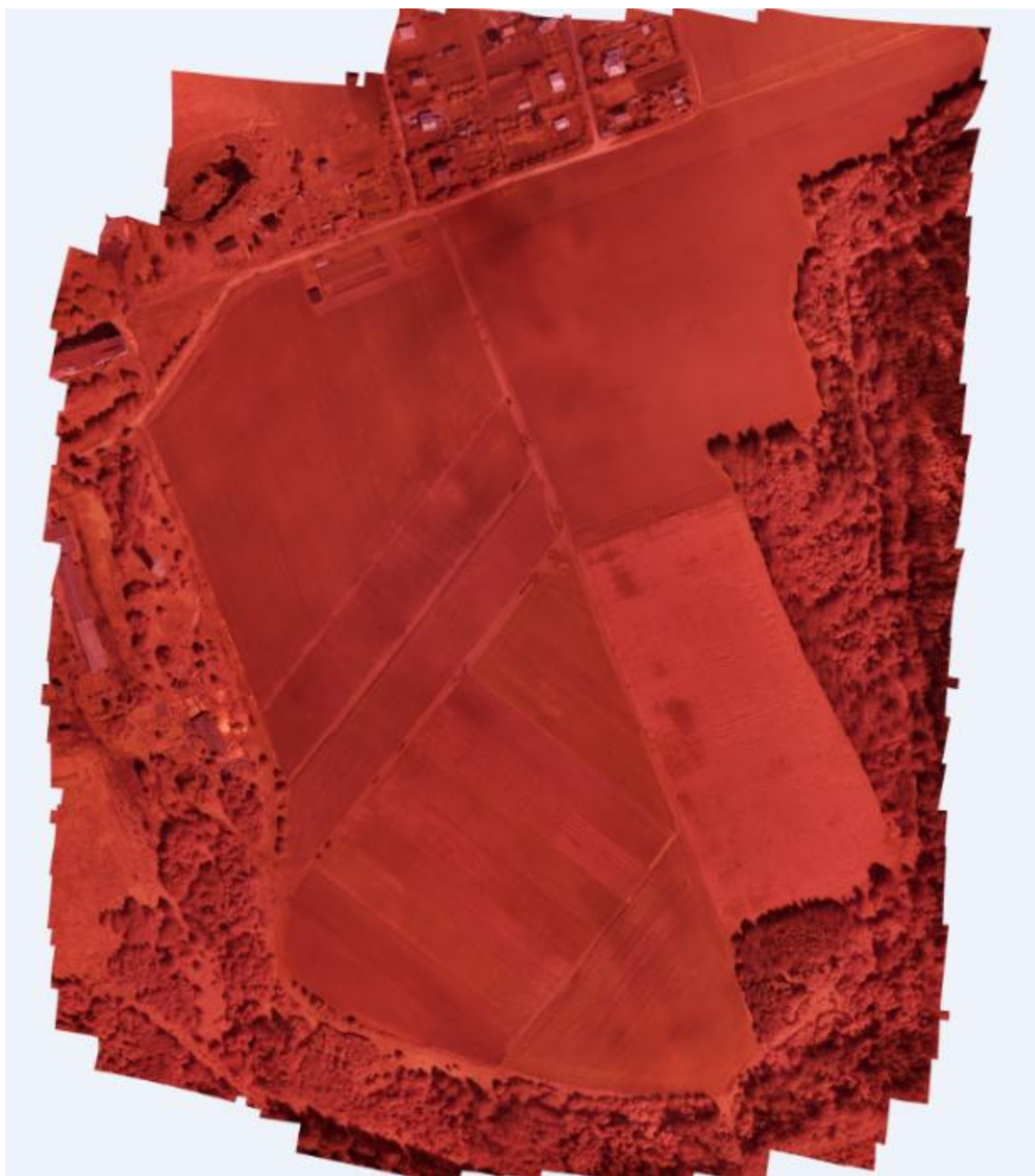


Рисунок 5 – Снимок с БПЛА в инфракрасном диапазоне (материалы предоставлены руководством Агрофизического НИИ)



Рисунок 6 – Композитный спутниковый снимок спутника Sentinel – 2 с ложной цветопередачей (Источник: <https://lv.eosda.com/>)

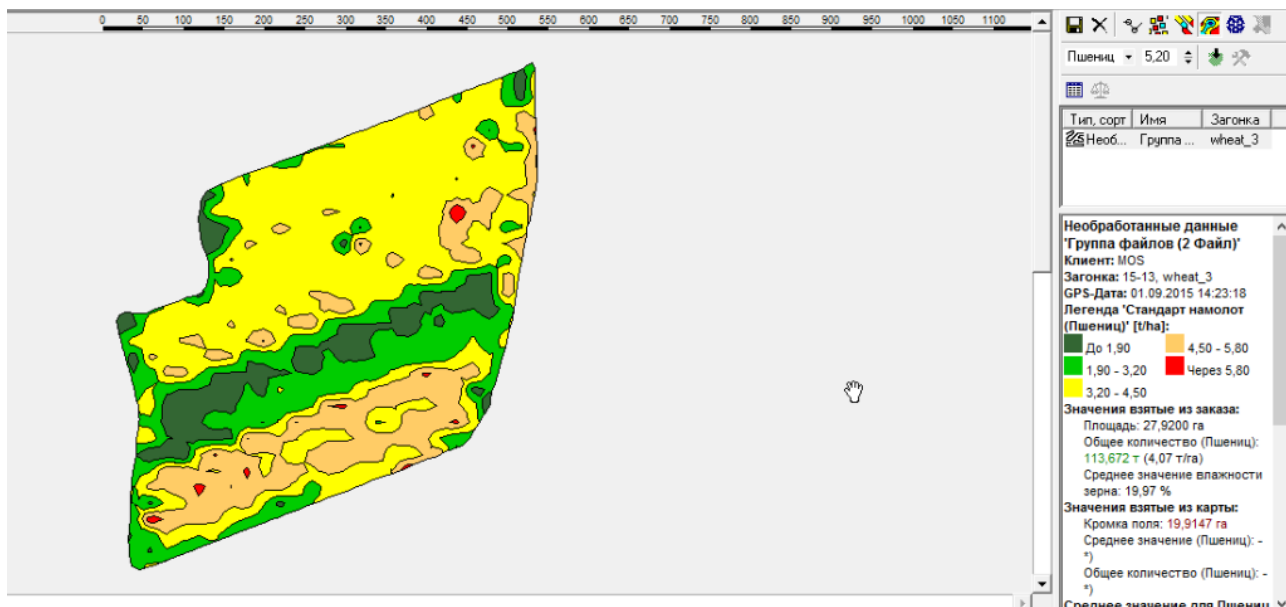


Рисунок 7 – Карта урожайности, выполненная в программе AGROCOM
(данные об урожайности предоставлены руководством Агрофизического НИИ)

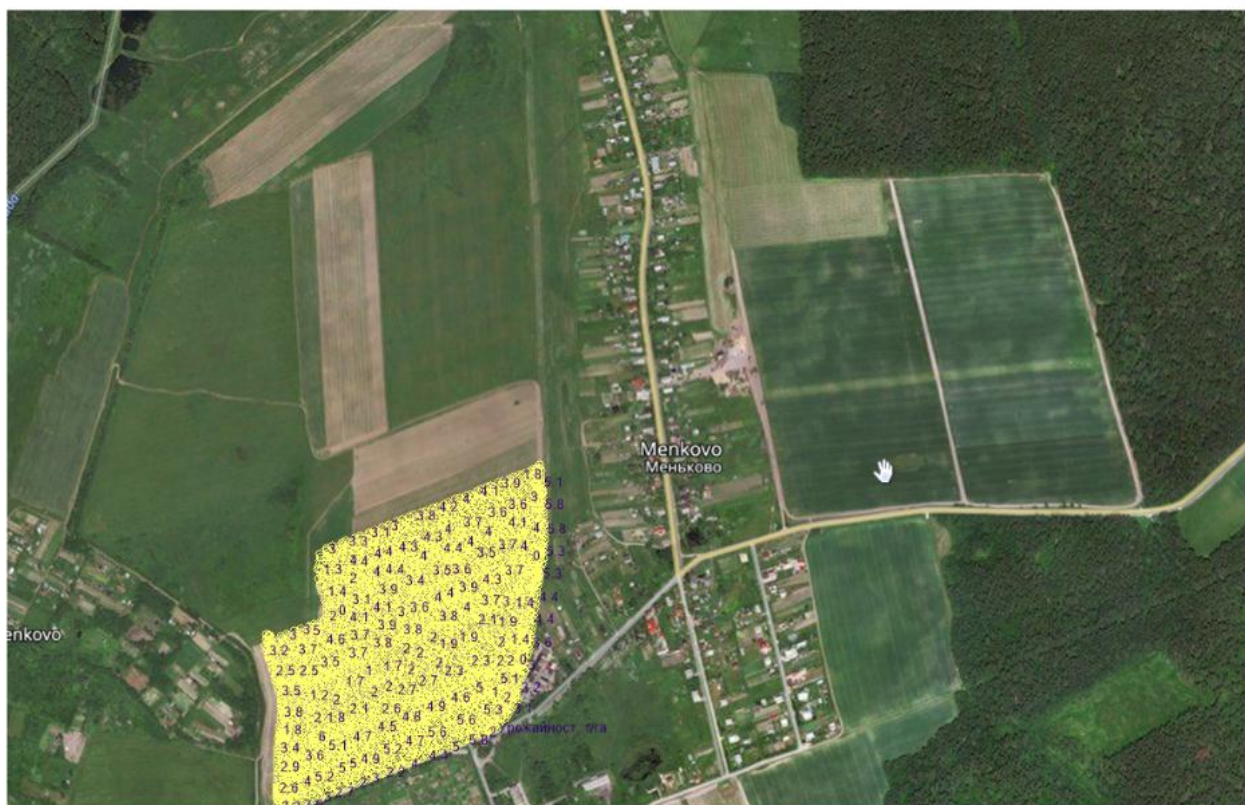


Рисунок 8 – Карта визуализации данных об урожайности, выполненная в программе MapInfo