

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»)

УДК 631.171:631.5(047.31)

Рег. № НИОКТР АААА-А20-120101490038-9



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора
ФГБНУ «Росинформагротех»,
канд. юрид. наук

П.А. Подьяблонский

« 8 » декабря 2020 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**Совершенствование метода разработки карт-заданий
для дифференцированного внесения удобрений на основе
цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений**

Задание 2.1.7 Проведение исследований по разработке инновационных технологий возделывания сельскохозяйственных культур

Тема 2.1.7.5 Проведение исследований процесса уборки зерновых культур комбайном, оборудованным системой картирования урожайности

Директор КубНИИТиМ

М.И. Потапкин

Руководитель НИР,
зам. директора по научной работе,
вед. науч. сотр., канд. техн. наук

Д.А. Петухов

Новокубанск 2020

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
отв. исполнитель,
зам. директора по научной работе,
вед. науч. сотр., канд. техн. наук

 30.11.2020

Д.А. Петухов
(методическое руководство,
введение, разделы 1, 2, 3, 4,
5, 6, заключение)

Исполнители:

Зав. лабораторией эксплуатационно-
экономической оценки машин,
науч. сотр.

 30.11.2020


С.А. Свиридова
(раздел 5)

Науч. сотр.

 30.11.2020

А.Б. Иванов
(разделы 3, 4, 5, 6,
приложения А, Б, В)

Науч. сотр.

 30.11.2020

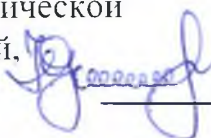
Е.В. Бондаренко
(разделы 3, 4, 5)

Науч. сотр.

 30.11.2020

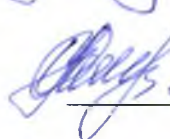
М.А. Белик
(раздел 4)

Зав. лабораторией агротехнической
оценки машин и технологий,
науч. сотр.

 30.11.2020


Т.А. Юрина
(раздел 4)

Науч. сотр.

 30.11.2020


О.Н. Негреба
(раздел 4)

Агроном

 30.11.2020

И.А. Горчакова
(раздел 4)

Нормоконтроль

 30.11.2020

В.О. Марченко

РЕФЕРАТ

Отчет 79 с., 1 кн., 23 рис., 7 табл., 63 источн., 3 прил.

КООРДИНАТНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ, КАРТА-ЗАДАНИЕ, ВНУТРИПОЛЕВАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ, ПОЧВЕННОЕ ПЛОДОРОДИЕ, ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ, УРОЖАЙНОСТЬ, СИСТЕМА КАРТИРОВАНИЯ, ПРИБЫЛЬ, МЕТОДИКА, ИНДЕКС ВЕГЕТАЦИИ

Объектом исследований является совершенствование процесса разработки карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений в зонах с различной внутриполевой неоднородностью почвенно-земельного покрова.

Цель работы – проведение исследований процесса уборки зерновых культур комбайном, оборудованным системой картирования урожайности, и разработка метода создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений.

Метод проведения работы – анализ научно-технической литературы по технологиям координатного земледелия, системный анализ, ретроспективный мониторинг почвенно-земельного покрова по данным дистанционного зондирования полей, фенологические наблюдения за ростом и развитием растений сельскохозяйственных культур, картирование урожайности.

В результате исследований разработаны карты-задания на дифференцированное внесение минеральных удобрений в участках с различными уровнями почвенного плодородия, созданы электронные карты урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно.

Новизна – разработана методика создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений.

Область применения – сельхозтоваропроизводители АПК, внедряющие элементы и технологии координатного земледелия.

Результаты НИР внедрены в производственных технологиях возделывания озимой пшеницы и кукурузы на зерно на полях валидационного полигона КубНИИТиМ.

Дополнительный доход от применения технологий координатного земледелия при производстве озимой пшеницы составил – 2400 руб./га, а при производстве кукурузы на зерно – 5650 руб./га.

Эффективность (дополнительный доход) достигается за счет прибавки в урожайности, путем перераспределения доз удобрений внутри поля в виде карт-заданий для техники, оборудованной системами дифференцированного внесения удобрений.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Состояние вопроса	12
1.1 Эффективность различных способов дифференцированного внесения минеральных удобрений.....	14
1.2 Предпосылки использования электронных карт урожайности для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение основной дозы удобрений.....	18
1.3 Предпосылки использования беспилотных летательных аппаратов и карт вегетационного индекса для разработки карт-заданий на дифференцированные подкормки растений.....	20
2 Рабочая программа и методика проведения исследований.....	24
3 Методика полевых опытов по дифференцированному внесению гранулированных минеральных удобрений.....	26
3.1 Озимая пшеница.....	27
3.2 Кукуруза на зерно	30
4 Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений.....	34
4.1 Озимая пшеница.....	34
4.2 Кукуруза на зерно	39
5 Сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно на участках с низкими и высокими относительными уровнями почвенного плодородия	46
5.1 Озимая пшеница.....	47
5.2 Кукуруза на зерно	51
6 Методика создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений.....	55

6.1 Область применения	55
6.2 Номенклатура определяемых показателей.....	55
6.3 Методы определения показателей	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное) Карты устойчивой внутрислолевой неоднородности опытных полей озимой пшеницы и кукурузы на зерно.....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное) Карты-схемы закладки производственных опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений	76
ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное) Карты урожайности опытных полей озимой пшеницы и кукурузы на зерно	78

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Дифференцированное

внесение

– в координатном земледелии процесс внесения в почву материалов (семян, удобрений, средств защиты растений) с переменной дозой, рассчитанной на основе анализа плодородия почв и/или состояния посевов

Картирование

урожайности

– технология точного земледелия, призванная определить неоднородность главного из показателей – урожайности

Координатное

земледелие

– система управления производственным процессом сельскохозяйственных культур, основанная на комплексном использовании современных информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, программно-технических средств и систем, обеспечивающих оптимизацию агротехнологических решений применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям

Неоднородность

почвенного покрова

– характеристика почвенного покрова, одновременно отражающая его сложность и контрастность

Нормализованный

относительный

индекс вегетации

– искусственный безразмерный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (плотно-

сти растительности), используемый для решения задач количественной оценки растительного покрова

Система
картирования
урожайности

– это аппаратно-программный комплекс, который устанавливается на уборочную технику и позволяет определять и фиксировать количество собранной сельскохозяйственной продукции за короткие промежутки времени

Электронная карта
биомассы растений

– электронная тематическая карта, содержащая значения нормализованного индекса вегетации сельскохозяйственной культуры в пределах обследованного пространственного объекта

Электронная карта
урожайности

– электронная тематическая карта, содержащая количественные характеристики показателей урожайности и состояния посевов культуры в пределах обследованного пространственного объекта

Shape-файл

– векторный формат для хранения объектов, описываемых геометрией и сопутствующими атрибутами, является стандартом для обмена данными между геоинформационными системами

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ВНППЗП – внутрислолевая неоднородность плодородия почвенно-земельного покрова

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ДДЗ – данные дистанционного зондирования

НИР – научно-исследовательская работа

ПЗП – почвенно-земельный покров

УВН – устойчивая внутрислолевая неоднородность

KML (Keyhole Markup Language) – формат файлов, который используется для отображения географических данных в программах Google Планета Земля, Карты Google и Карты Google для мобильных устройств

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности, простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы

shp – файл, содержащий информацию о геометрических объектах и состоящий из заголовка фиксированной длины и одной или более записей переменной длины, при этом каждая запись переменной длины включает в себя заголовки записи и содержимое

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству [1], который на сегодняшний день не возможно осуществить без цифровизации сельского хозяйства с использованием ГЛОНАСС/GPS навигации; дифференцированного внесения; автоматических пробоотборников; датчиков картирования урожайности; программ для автоматизированного управления сельхозпредприятием и др. элементов.

Перспективным направлением развития сельского хозяйства является реализация программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [2]. Ключевой задачей данной программы является внедрение цифровых инструментов (координатное земледелие) для использования информационных ресурсов, платформ и технологий, повышающих эффективность производства, при этом предметными задачами цифровой трансформации сельского хозяйства являются:

- применение технологий цифрового анализа структуры, состава и состояния почв, мониторинга посевов для повышения урожайности и предиктивного (предсказуемого) анализа урожая, вредителей и др.;
- разработка технических требований и внедрение аппаратуры дифференцированного внесения материалов для систем цифрового и координатного земледелия на основе цифровых почвенных карт и карт урожайности, показывающих особенности свойства на каждом участке поля.

Исследования по изучению влияния внутрислолевой неоднородности на урожайность сельскохозяйственных культур приобретают особое значение с применением цифровых технологий координатного (точного) земледелия, т.к. получаемые результаты, как правило, свидетельствуют об эффективности использования высокоинтенсивных агротехнологий в условиях неоднородности [3]–[5]. Одной из наиболее важных технологий точного земледелия явля-

ется картирование, которая позволяет определить неоднородность главного из показателей – урожайности.

Также неотъемлемой частью технологий точного земледелия является дифференцированное внесение удобрений, которое предусматривает разработку цифровых карт-заданий [6]. Известно, что при разработке карт-заданий используют различные варианты дорогостоящего программного обеспечения работающего через облачный сервис с алгоритмами внесения удобрений для разных культур. Как правило, для создания карт-заданий в таких программах используется текущий индекс вегетации растений, полученный по данным дистанционного зондирования (далее – ДДЗ) почвенно-земельного покрова [7]. Сложность использования только одного индекса вегетации для разработки карт-заданий связана с проблемами нормализации кадров ДДЗ, полученных в разных условиях съемки, и высокой динамичностью состояния сельскохозяйственных культур в течение одного вегетационного периода и по годам. В свою очередь существуют технические средства для картирования урожайности в пределах поля, но карта урожайности содержит только информацию о тех участках, где необходимо проводить анализ для выявления причин неоднородности. Предположительно, что если проводить многолетнюю оценку урожайности при помощи картирования, то можно будет выявить зоны с разным уровнем урожайности. Таким образом, можно будет составлять карты-задания в два этапа, путем определения зон с различной урожайностью предшественника и наложением на них карты вегетационного индекса, полученного непосредственно перед внесением удобрений с беспилотного летательного аппарата, либо со спутника, но с ДДЗ высокого разрешения.

Совершенствование метода разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений актуально и будет способствовать применению цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений для разработки карт-заданий на основное внесение удобрений и подкормки растений.

Цель НИР – проведение исследований процесса уборки зерновых культур комбайном, оборудованным системой картирования урожайности, и разработка

метода создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений.

Данная работа заключается в исследовании и анализе результатов закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на полях озимой пшеницы 11/1 и кукурузы на зерно 2/2 валидационного полигона КубНИИТиМ.

Задачи, которые необходимо решить для достижения цели работы:

- заложить полевые опыты по дифференцированному внесению удобрений на подкормках озимой пшеницы и после посева кукурузы на зерно разными дозами в зонах с различными уровнями почвенного плодородия;

- провести фенологические наблюдения за ростом и развитием озимой пшеницы и кукурузы на зерно;

- создать электронные карты урожайности;

- обосновать эффективность применения элементов технологий координатного земледелия;

- разработать новый метод создания цифровых карт-заданий на дифференцированное внесение гранулированных минеральных удобрений.

Исходные данные для проведения НИР – научно-техническая литература, научные статьи, карты устойчивой внутриполевой неоднородности полей КубНИИТиМ, результаты картирования урожайности и закладки полевых опытов, полученные специалистами КубНИИТиМ в 2020 г.

Выполнение данной НИР будет содействовать применению электронных карт урожайности и индекса вегетации растений для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений во исполнение Стратегии и позволит повысить экономическую эффективность производства озимой пшеницы и кукурузы на зерно за счет внедрения элементов технологий координатного земледелия.

1 Состояние вопроса

В настоящее время технология координатного (точного) земледелия базируется на управлении продуктивностью посевов сельскохозяйственных культур с учетом изменений в среде обитания и состоянии растений, основанном на использовании специализированных компьютерных систем с применением геоинформационных систем (далее – ГИС), систем глобального позиционирования и новейших образцов сельскохозяйственной техники, оборудованной такими системами [8].

Для широкого внедрения ГИС-технологий в сельское хозяйство необходимо научить сельхозтоваропроизводителей и будущих специалистов: разрабатывать электронные карты полей хозяйства, картировать урожайность возделываемых культур, обоснованно проводить агрохимическое обследование полей, химический анализ почвы и разрабатывать электронные карты плодородия, разрабатывать электронные карты-задания для дифференцированного посева, внесения удобрений и пестицидов, дифференцированно сеять, вносить удобрения и пестициды, использовать навигационные системы для мониторинга техники и параллельного вождения, работать с бортовыми компьютерами различных агрегатов и машин, оперативно вести учёт, планирование и финансовую отчётность хозяйства [9].

Методология точного земледелия включает в себя большое количество технологий, которые в рамках отдельного сельскохозяйственного предприятия могут использоваться как в совокупности, так и по отдельности. В обобщенном плане можно выделить три наиболее важных составляющих точного земледелия:

- система определения координат сельскохозяйственного агрегата на поле при помощи спутниковой навигации;
- компьютеризированная база данных, содержащая информационный массив, необходимый для составления карт;
- контролирующие элементы, используемые для осуществления сель-

скохозяйственных операций в соответствии с параметрами, содержащимися на электронной карте [10].

На сегодняшний день точное земледелие невозможно осуществить без достоверной информации о состоянии почвы и растений. На основании этой информации строятся карты-задания для дифференцированного внесения удобрений и др. Известно, что учеными разработано множество различных методов для оценки почв. Наиболее традиционным методом для создания карт-заданий для сельскохозяйственной техники является агрохимический анализ почвы. В основе данного метода лежит отбор почвенных образцов, которые направляются в агрохимическую лабораторию, где производится их анализ на те или иные питательные элементы, содержание органического вещества, значение почвенной кислотности и др. Проблемой данного метода является вопрос о том, как правильно отбирать почвенные образцы, чтобы использовать полученную информацию для дифференцированного внесения удобрений [11].

Дифференцированное внесение минеральных удобрений – относительно новый подход в сельском хозяйстве. Он подразумевает внесение удобрений только на тех участках поля, где это необходимо и в оптимальных дозах. Комплексное использование навигационной системы, картографии, систем параллельного вождения и дифференцированного внесения удобрений позволяет получать экономию денежных средств, а как результат и снижение конечной стоимости с.-х. продукции. Функционирование системы точного земледелия основано на информационных технологиях, которые, извлекая данные из множества источников, позволяют принимать решения по управлению посевами, и контролю урожайности в режиме реального времени [12].

Установлено, что управление данными, их математическая обработка и своевременность информации для координатного земледелия повышают точность операций и позволяют управлять вариабельностью параметров плодородия внутри поля, при этом точное земледелие позволяет моделировать

ситуацию и обеспечить оптимальный рост каждому растению при снижении затрат на производство [13].

Важной особенностью точного земледелия является учет внутривидовой вариативности почвенного плодородия. В соответствии с традиционными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур удобрения вносятся или без учета уровней агрохимических показателей почвы или принимают во внимание усредненные данные агрохимического обследования согласно агрохимическим паспортам полей. При этом все агротехнологические операции выполняются однотипно в визуально определяемых границах полей несмотря на то, что почвы практически всех типов характеризуются значительной вариативностью основных агрохимических показателей.

Внесение удобрений усредненными по полю (фиксированными) дозами не отвечает требованиям отдельных растений к уровню минерального питания, при этом варьирование агрохимического состава почв внутри поля очень значительно. Отличия показателя плодородия почвы в различных частях поля могут достигать до 300 % [14]. При внесении фиксированных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений более 30 % растений получают недостаточное или, наоборот, избыточное минеральное питание с вытекающими отсюда последствиями для продуктивности агроценозов [15]. Это влияет на урожайность (до 150 %) и экологичность выращиваемых продуктов [14].

Следовательно технологии точного земледелия предусматривают внесение удобрений по отдельным контурам почвенного плодородия с использованием спутниковой навигации (GPS, Глонасс). Поэтому одной из главных задач точного земледелия будет являться определение и картографирование таких контуров.

1.1 Эффективность различных способов дифференцированного внесения минеральных удобрений

Исследования по точному земледелию, проводимые в России в рамках научных программ Россельхозакадемии в различных почвенно-

климатических условиях, показали высокую эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений под зерновые культуры: повышается окупаемость азотных удобрений в 1,5-1,8 раза, снижаются нормы внесения удобрений до 30 % [16], [17].

Точное земледелие предусматривает два способа дифференцированного внесения минеральных удобрений: оффлайн и онлайн.

Как правило способ внесения оффлайн применяют при внесении основной дозы азота у зерновых, а способ онлайн используют в основном для подкормки растений [18], [19].

Оффлайн предусматривает предварительную подготовку на компьютере карты-задания, в которой содержатся пространственно-привязанные с помощью навигации дозы удобрений для каждого элементарного участка поля. Для этого осуществляется сбор необходимых конкретных данных о поле, на основании которых проводится расчёт дозы для каждого элементарного участка поля, тем самым формируется (в специальной программе) карта-задание. Затем она переносится на чип-карте (носителе информации) на бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащенной GPS-приёмником, и выполняется заданная операция. Трактор, оснащенный бортовым компьютером, двигаясь по полю, с помощью GPS определяет свое местонахождение. Компьютер считывает с чип-карты заданную дозу удобрений, соответствующую месту нахождения, и посылает сигнал на контроллер распределителя удобрений, который после получения сигнала, автоматически её вносит на каждом элементарном участке поля.

Методика дифференцированного внесения удобрений в режиме оффлайн включает следующие этапы [12]:

- разработка электронных картограмм обеспеченности почвы доступными формами элементов питания методом дискретного полевого обследования с геоинформационным и навигационным обеспечением, который предусматривает:

а) создание электронного контура поля с помощью автоматизированного мобильного комплекса: навигационная система с высокоточным GPS приемником, полевой компьютер, автоматический пробоотборник, установленного на транспортное средство;

б) разбивка контура поля на элементарные участки определенной площади, которая будет зависеть от уровня применения удобрений, рельефа местности, однородности почвенного покрова и других факторов;

в) отбор почвенных проб с каждого участка, при этом объединенная проба состоит из нескольких индивидуальных проб (уколов пробоотборника);

г) определение в лабораторных условиях содержания в почве основных элементов питания, необходимых для расчета доз удобрений: гумуса, подвижного фосфора, обменного калия и реакции почвенной среды;

д) создание картограмм пространственного распределения элементов питания по площади поля с использованием программного обеспечения, установленного на компьютере;

- расчет дозы удобрений на планируемый урожай, исходя из конкретной обеспеченности каждого элементарного участка;

- создание карты-задания на внесение удобрений для каждого элементарного участка поля, который представляет собой квадрат со стороной равной ширине захвата разбрасывателя удобрений.

Онлайн методика предусматривает предварительное определение в режиме реального времени количественной зависимости дозы удобрения от показаний датчиков, установленных на крыше трактора, а доза удобрений при этом определяется непосредственно во время внесения удобрений. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия механизатора) записываются на чип-карту. Установлено, что рациональное расходование рабочего времени и ресурсов с применением системы GPS позволяет получить экономический эффект в размере от 400 до 1200 руб./га [20].

Методика дифференцированного внесения удобрений в режиме онлайн включает следующие этапы [21]:

- предварительное проведение калибровки непосредственно на посевах перед выполнением операции с помощью портативного прибора N-тестера и калибровочных таблиц;
- расчет рекомендуемой средней дозы внесения удобрений по калибровочным таблицам для разных сортов сельскохозяйственных культур;
- загрузка средней дозы в бортовой компьютер разбрасывателя;
- внесение удобрений в соответствии с показателями фотометрических сенсорных датчиков, которые в инфракрасном и красном диапазонах излучения в реальном времени определяют содержание хлорофилла в листьях и биомассу растений, затем данные отправляются непосредственно на бортовой компьютер в тракторе, который регулирует дозирующую систему для внесения удобрений.

Установлено, что дифференцированное внесение в сравнении с традиционным внесением единой дозой повышает эффективность потребления элементов питания из удобрений от 10 % до 30 % и дает такое же уменьшение в физическом весе удобрений. При внедрении дифференцированного внесения, переоснащение одного агрегата может достигать до 700 тыс. руб., при этом предполагается, что в наличии уже имеется техника с навигационной системой и бункер. Таким образом, перевод одного агрегата на дифференцированное внесение окупится при обработке 1 тыс. га за один сезон. Кроме экономии на удобрениях достигается и сокращение расхода ГСМ [22].

В настоящее время в хозяйствах еще применяют сигнальщики с флажками, указывающими направление движения. Так, при традиционном способе выявлено, что при внесении минеральных удобрений, в виду отсутствия маркеров на разбрасывателях, получены следующие данные: на 11 % площади поля были перекрытия, т. е. на этих участках была внесена двойная норма минеральных удобрений, посевы на этих участках были угнетенными. Там, где были допущены пропуски, урожайность была ниже, чем на нормально

обработанных участках, т. е. на 15 % площади поля не была соблюдена доза внесения и недополучена прибыль. Необходимо отметить, что при использовании систем автоматического вождения происходит повышение рабочей скорости до 20 % за счет концентрации тракториста только на технологическом процессе [23]. Исследованиями, проведенными в КубНИИТиМ установлено, что применение на агрегате для внесения удобрений системы автоматического вождения позволило повысить его производительность на 6 % и исключить работу двух сигнальщиков [24].

Таким образом, дифференцированное внесение минеральных удобрений является одним из важнейших экономических и экологических аспектов координатного земледелия.

1.2 Предпосылки использования электронных карт урожайности для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение основной дозы удобрений

При внедрении технологий координатного земледелия одним из важных источников информации является электронная карта урожайности, которая характеризует уровень продуктивности поля. Данная карта позволяет характеризовать поле не только средней урожайностью поля, но и урожайностью множества отдельных участков (площадь каждого анализируемого участка, как правило, составляет 5×5 м). При этом существенно возрастает возможность детального исследования характера и степени влияния на урожайность почвенно-климатических, агрохимических и других аспектов, выявленных на этапе мониторинга [25].

Известно, что одним из альтернативных способов оценки устойчивой внутриполевой неоднородности (далее – УВН) почвенно-земельного покрова (далее – ПЗП), является дробный учет урожайности, т. е. для составления картограммы неоднородности почвы можно не анализировать состояние почвы, а во время уборки оценивать урожайность каждого конкретного участка поля. Исходя из этих данных, составляют карту урожайности поля,

по которой, зная, какие участки поля дали больший урожай, а какие меньший, планируют программу основного внесения удобрений [26].

Пространственное распределение урожайности имеет уникальное значение, так как нет более объективного показателя неоднородности сельскохозяйственного поля по плодородию, чем карта, характеризующая количественную интегральную оценку продукционного процесса [27].

Таким образом, картирование урожайности – это технология точного земледелия, призванная определить неоднородность главного из показателей – урожайности. С помощью системы картирования урожайности [28], т. е. специальных датчиков, установленных на комбайнах, а также бортовых компьютеров и приемников GPS в процессе уборки урожая можно получить пространственно-ориентированные карты урожайности и влажности зерна. Составление подобных карт является неотъемлемой частью технологии точного земледелия и позволяет осуществлять прогноз урожайности. Измерение массы намолоченного зерна, содержания сухого вещества, убранной площади поля с учетом координат является обязательным условием при создании карт урожайности для работы в системе точного земледелия. Среди оборудования, предназначенного для оценки показателей урожайности, важное место занимают различные датчики: оптический датчик объема зерна в бункере, влажности зерна, поперечных и продольных отклонений жатки и др.), представляющие собой набор сенсоров. Их применение дает возможность определять урожайность и влажность зерна с единицы площади с учетом местоположения комбайна и компенсации неровности поля [29].

В связи с тем, что концепция точного земледелия рассматривает сельскохозяйственное поле как неоднородное и предполагает соответствующую дифференциацию при проведении агротехнических операций, то, следовательно, при внесении постоянной дозы удобрений нельзя добиться оптимизации питания всех растений. Поэтому удобрения нужно вносить в почву дифференцированно по картам-заданиям, с учетом количества ранее накоп-

ленных в ней основных питательных веществ и ряда других характеристик конкретного участка поля.

Разработанная карта-задание под урожай следующего года будет, конечно, ориентироваться на данные урожая предыдущей культуры, что может привести к смещению контуров. Эти коррективы неизбежны, однако, общей картины продуктивности участка они исказить не смогут, поскольку урожайность, главным образом, зависит от плодородия пахотного слоя. По мере накопления опыта построения карт урожайности, интерполяции их данных, идентификации по годам с разными климатическими условиями, мониторинга эффективности применения минеральных, органических удобрений и микроэлементов в севообороте их характерность будет возрастать [30].

Оборудование зерноуборочных комбайнов системами картирования урожайности позволит по новому подойти к системе учета работ, выполненных механизаторами. Отпадет необходимость использовать ручной труд учетчиков, поскольку электронное картирование предоставит возможность механизаторам самостоятельно следить за выработкой. Кроме того, для руководителей организаций внедренные системы картирования станут мощным рычагом оптимизации управления, позволяющим не только контролировать количество собранного урожая, но и снизить хищения продукции [31].

На основе вышеизложенного можно резюмировать, что компьютерный мониторинг и система картирования урожайности позволяют: рассчитывать урожайность в реальном времени, создавать карты урожайности, легко определять ее изменения по локальным участкам полей, планировать внесение удобрений с учетом особенностей полей и проводить анализ экономической эффективности каждого поля.

1.3 Предпосылки использования беспилотных летательных аппаратов и карт вегетационного индекса для разработки карт-заданий на дифференцированные подкормки растений

При решении широкого круга задач в системе точного земледелия все

более перспективным и актуальным становится применение данных дистанционного зондирования. В качестве инструментов получения таких данных выступают околоземные космические, авиационные системы, а также беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных систем при решении определенного ряда задач обладает следующими преимуществами [32]:

- высокая разрешающая способность съемки (до 1 см/пикс);
- оперативность получения и обработки данных;
- отсутствие помех, связанных с облачностью и дымкой;
- получение данных с необходимой периодичностью для проведения наблюдений в динамике.

В настоящее время, с появлением технологий точного земледелия традиционные методы контроля плодородия почв и фитосанитарного состояния посевов становятся малоэффективными для своевременного выполнения технологических операций, в т.ч. для внесения минеральных удобрений на подкормках растений [33].

Огромный потенциал в развитии цифровых технологий кроется в использовании беспилотных летательных аппаратов, которые оснащены цифровыми гипер- или мультиспектральными камерами, работающими в определенных областях спектра и GPS-приемниками. На сегодняшний день существуют широкие возможности для использования беспилотных летательных аппаратов для оцифровки полей, мониторинга использования сельскохозяйственных угодий, получения исходной информации при построении электронных карт полей и создании карт-заданий на дифференцированное внесение минеральных удобрений и пестицидов [34]–[38].

В системе точного земледелия при производстве растениеводческой продукции применение БПЛА позволяет решать также ряд востребованных практических задач [32]: инвентаризация сельскохозяйственных полей, предупреждение чрезвычайных ситуаций на полях, мониторинг состояния посе-

вов, дифференцированное внесение удобрений и агрохимикатов, прогноз урожайности, расчет вегетационных индексов и др.

Аэрофотосъемка позволяет получить комплекс данных высокого качества за один день (при необходимости в круглосуточном режиме): ортофото-план сельскохозяйственного поля, привязанный к глобальной системе позиционирования; цифровые модели рельефа местности и водных потоков, а также расчет вегетационных индексов.

Кроме визуального осмотра и обмера полей, дроны также могут предоставить информацию по полям в виде карт NDVI, результат сканирования в видимом ближнем инфракрасном спектральном диапазоне. Карты NDVI позволяют увидеть отличия в состоянии растений, которые визуально не будут видны. Информация чаще всего предоставляется в определенные фазы развития растений, которые наиболее важны для агропредприятия. На основании карт NDVI, биохимического анализа растений, севооборота, запланированной урожайности и внесенных доз удобрений формируется карта рекомендаций по внесению удобрений, показывая таким образом, в каких частях поля, и какую дозу необходимо вносить, позволяя тем самым экономить затраты на удобрения [39]–[41].

Растущий спрос на высококачественные данные ДЗЗ на всех этапах жизненного цикла урожая приводит к росту применения БПЛА не только у крупных сельхозтоваропроизводителей, но и в фермерских хозяйствах. Съемка на основе дронов практически вытеснила аэрофотосъемку и является технологическим конкурентом и необходимым дополнением спутниковой съемки. По данным [42] минимальная стоимость создания карт масштаба 1:500 – 1:5000 при использовании БПЛА составляет 200-300 руб./га, на основе аэрофотосъемки 300-1000 руб./га.

Наибольшую выгоду сельхозпроизводители при использовании технологий ДЗЗ могут получить на основе снимков БПЛА. Технологии точного земледелия значительно повышают продуктивность, качество и обеспечива-

ют экономию удобрений: так в примере с яровой пшеницей использование технологий дистанционного зондирования совместно с технологией дифференцированного внесения удобрений показало увеличение урожайности на 29 %, экономию удобрений на 26 % [43]. Сравнение затрат и выгод при внедрении дистанционного зондирования с использованием сенсоров типа N-сенсора (Yara), Isaria (Fritzmeier) или Green Seeker (Trimble) и при внедрении ДЗЗ (дешифрирования снимков полученных с БПЛА) показывает значительное экономическое преимущество ДЗЗ [44]:

- стоимость 1-го N-сенсора в среднем 60 000 евро, текущие затраты включают создание калибровочных таблиц и калибровку сенсора;

- стоимость БПЛА, обеспечивающего производительность съемки 6000 га/смену, составляет 26 000 евро;

- стоимость программного обеспечения (далее – ПО), которое обеспечивает автоматическое дешифрирование: выделяет технологические зоны, генерирует карты-задания 1500 евро;

- урожайность зерна яровой пшеницы при использовании технологий на основе N-сенсора на опытном участке составила 37,7-39,5 ц/га, при использовании ДЗЗ (БПЛА) 38,8-45,1 ц/га, что выше на 8,5 %.

Таким образом, сбор информации о состоянии сельскохозяйственных угодий с помощью беспилотных летательных аппаратов является более доступным для сельскохозяйственных товаропроизводителей по сравнению с использованием сенсоров, дистанционным зондированием Земли (далее – ДЗЗ) космическими спутниками и пилотируемыми воздушно-космическими аппаратами [45]. БПЛА позволяют оперативно получать изображения с высоким разрешением и являются экономически более выгодными для разработки карт-заданий на дифференцированные подкормки растений.

2 Рабочая программа и методика проведения исследований

Рабочей программой исследований было предусмотрено выполнение следующих основных этапов работ:

- построение карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенно-земельного покрова (ВНППЗП) с использованием метода ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова и данных дистанционного зондирования полей;

- разработка карт-заданий в формате KML на дифференцированные подкормки озимой пшеницы и основное внесение после посева кукурузы на зерно с рекомендациями по корректировкам доз минеральных удобрений в зонах устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенно-земельного покрова;

- оборудование разбрасывателя минеральных удобрений Bogballe M2 base системой параллельного вождения «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» с автоматическим управлением расходом минеральных удобрений для выдерживания дозы при изменениях скорости и по местоположению на поле;

- разработка методики и закладка полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на полях озимой пшеницы и кукурузы на зерно в участках с различными относительными уровнями почвенного плодородия;

- проведение фенологических наблюдений за ростом и развитием растений озимой пшеницы и кукурузы на зерно для сравнительного анализа показателей (число растений, высота и др.);

- оборудование зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 системой картирования Trimble для создания электронных карт урожайности опытных полей;

- определение урожайности на опытных полях в различных зонах плодородия при помощи зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 с системой картирования урожайности;

- сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно по зонам плодородия;

- определение эффективности дифференцированного внесения удобрений в участках с различными относительными уровнями почвенного плодородия;

- разработка методики создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений.

В соответствии с поставленными задачами в данной работе была разработана общая методика экспериментальных исследований, которая включала в себя ранее утвержденные и вновь разработанные методики:

- метод ретроспективного мониторинга с использованием десятков разновременных данных дистанционного зондирования полей, согласно которому были построены карты внутриполевой неоднородности почвенно-земельного покрова;

- методику полевых опытов, которая предусматривала дифференцированное внесение гранулированных минеральных удобрений различными дозами по зонам плодородия и уборку урожая с составлением цифровых карт урожайности;

- методику фенологических наблюдений за растениями, которая включала следующие этапы: выбор мест и точек наблюдения, признаков определения фаз развития и частоты осмотра наблюдаемых растений, регистрацию дат и сроков наступления фаз развития растений.

С целью содействия применению электронных карт урожайности и индекса вегетации растений для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений по итогам проведенных исследований была разработана «Методика создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений».

3 Методика полевых опытов по дифференцированному внесению гранулированных минеральных удобрений

Для разработки цифровых карт-заданий при закладке полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на подкормках озимой пшеницы и при основном внесении удобрений после посева кукурузы на зерно с различными скорректированными дозами минеральных удобрений в зонах устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенно-земельного покрова были созданы с помощью метода ретроспективного мониторинга [46], [50] электронные карты устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия полей 11/1 и 2/2 валидационного полигона Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» КубНИИТиМ (рисунки А.1, А.2 приложения А).

Карты-задания на дифференцированное внесение удобрений (рисунки Б.1, Б.2, приложения Б) разрабатывали в программе «Google Планета Земля», следующим образом:

- вначале создавали в разделе «Мои метки» программы новую папку с названием карты-задания, например: «рк_номер поля»;

- затем прорисовывали контура ячеек поля, согласно зонам электронных карт УВН инструментом «многоугольник» и сохраняли их под своими номерами в обозначенной папке;

- после вводили для каждой ячейки в меню «Свойства» данные о номере ячейки и заданной дозе внесения удобрений в формате, воспринимаемым системой «Агронавигатор АСУР-Дозатор»;

- после данной операции сохраняли папку в формате KML «рк_номер поля.kml».

Далее разработанные карты-задания на переносном носителе заносили в бортовой компьютер системы для дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор АСУР-Дозатор».

3.1 Озимая пшеница

Производственный опыт по дифференцированному внесению минеральных удобрений на первой и второй весенних подкормках (поле 11/1) включал следующие технологические операции по возделыванию озимой пшеницы по предшественнику кукуруза на зерно, согласно технологической карте валидационного полигона КубНИИТиМ:

- трехкратное дискование агрегатом К-744Р1+БДТМ 6×3 на глубину от 10 до 15 см;
- внесение основного удобрения (аммофос) под посев озимой пшеницы на опытном поле 25.09.2019 г. агрегатом Беларус 1025.2+Vogballe M2 с хозяйственной дозой – 200 кг/га;
- предпосевную подготовку почвы агрегатом John Deere 8420+Catros 6001 при влажности почвы в слое от 0 до 10 см – 19,2 %.

Семенной материал для посева выбирали из сортов Краснодарской селекции (КНИИСХ), рекомендованных для возделывания в Центральной зоне Краснодарского края. Характеристика посевного материала (сорт Таня РС-1): чистота семян – 98,7 %, всхожесть семян – 98 %, масса 1000 семян – 45,2 г, посевная годность – 98,1 %.

Сорт «Таня» включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 2005 г., защищен патентом Российской Федерации. Общая характеристика: сорт полумкарликовый, высокоустойчив к полеганию, среднеранний, устойчив к осыпанию.

Урожайность: в среднем по четырем предшественникам за годы испытаний урожайность сорта «Таня» составила 7,94 т/га, что выше стандартного сорта на 1,07 т/га. Максимальная урожайность была получена в 2002 г. по занятому пару – 12,21 т/га.

Устойчивость к болезням и климатическим условиям. На фоне искусственного заражения сорт устойчив к мучнистой росе и пыльной головне. Имеет полевую устойчивость к бурой, желтой и стеблевой ржавчинам. Среднеустойчив к фузариозу колоса. Средневосприимчив к септориозу. Морозо-

стойкость выше средней, засухоустойчивость высокая.

Зона возделывания и предшественники. Допущен для возделывания в Северо-Кавказском регионе. Хороший результат дает практически по всем предшественникам на высоком и среднем агрофонах. Один из немногих сортов, рекомендуемых для посева после кукурузы на зерно.

Перед посевом семена обработали фунгицидным протравителем «Бенефис» (800 г/т) совместно с торфяным удобрением «Гумат Калия» (0,5 л/т).

Посев на поле проводили с 3 по 4 октября 2019 г. посевным агрегатом Беларус 1025.2+С-7,2-ПМЗ «Быстрица» с нормой высева семян (250 кг/га) 5,0 млн. шт./га и с одновременным внесением аммофоса – 50 кг/га. После посева было проведено прикатывание агрегатом МТЗ-82+ККЗ-6.

После полных всходов озимой пшеницы перед уходом в зиму (с 18.11 по 28.11.2019 г.) была проведена борьба с мышевидными грызунами, препаратом «Изоцин». Обработка проводилась путем раскладывания приманок в норки.

Первую дифференцированную подкормку озимой пшеницы аммиачной селитрой провели 27.02.2020 г. агрегатом Беларус 1025.2+Vogballe M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» (рисунки 1, 2), вторую подкормку аммиачной селитрой 24.03.2020 г. согласно карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений (рисунок Б.1 приложения Б).

Химическую обработку посевов от сорной растительности, корневой гнили озимой пшеницы и листовую подкормку провели 27.03.2020 г., препаратами «Ланцелот» – 33 г/га, «Зим 500» – 600 г/га и «Гумат Калия» – 0,5 л/га.

Химическую обработку посевов против болезней и вредителей с листовой подкормкой провели опрыскивателем ОПГ-3000/24 серии «Гварта-5» в агрегате с трактором МТЗ-82 в период 28.05.2020 г. препаратами «Триада» – 600 г/га, «Кинфос» – 200 г/га, «Гумат Калия» – 0,5 л/га, «Карбамид» (мочевина, концентрированное удобрение с амидной формой азота) – 20 кг/га.



Рисунок 1 – Общий вид разбрасывателя минеральных удобрений Bogballe M2 в агрегате с трактором Беларусь 1025.2 на дифференцированной подкормке озимой пшеницы



Рисунок 2 – Общий вид карты-задания на дифференцированное внесение аммиачной селитры на мониторе системы «Агронавигатор-АСУР-Дозатор»

3.2 Кукуруза на зерно

Производственный опыт по дифференцированному основному внесению минеральных удобрений после посева (поле 2/2) включал следующие технологические операции по возделыванию кукурузы на зерно по предшественнику озимая пшеница, согласно технологической карте валидационного полигона КубНИИТиМ:

- предпосевное внесение почвенного гербицида «Пропонит» агрегатом МТЗ-82+ОПГ-3000/24 серии «Гварта-5» в дозе 2,5 л/га;
- предпосевную культивацию агрегатом К-744Р1+КШМ-14,5 на глубину до 7 см;
- посев кукурузы на зерно агрегатом Беларусь 1025.2+Kuhn Planter 3 (рисунок 3), оборудованным системой автоматического вождения Trimble EZ-Pilot+Trimble TMX-2050 (рисунок 4).



Рисунок 3 – Посевной агрегат Беларусь 1025.2+Kuhn Planter 3, оборудованный системой автоматического вождения Trimble EZ-Pilot+Trimble TMX-2050



Рисунок 4 – Общий вид системы автоматического вождения Trimble EZ-Pilot+Trimble TMX-2050 в кабине трактора Беларус 1025.2

Посев провели 04.04.2020 г. семенами гибрида кукурузы на зерно «П9074», включенного в Госреестр, при прогревании почвы до 12 °С, с нормой высева 5 шт./пог. м. (71 тыс. шт./га). Схема посева – однострочная, с междурядьем – 70 см.

Гибрид кукурузы «П9074» зернового направления. Имеет хорошие показатели влагоотдачи при дозревании. Крепкий стебель с оптимальным уровнем крепления кочана. Способен формировать два початка и хорошая устойчивость к корневому полеганию. Стабильные показатели качества и количества урожая в любых условиях выращивания. Высокие показатели устойчивости к засухе. Средняя толерантность к заболеваниям кукурузы. Тип зерна – зубовидное. Потенциал урожайности – 110 ц/га.

Рекомендованная густота на период уборки: при достаточном уровне влагообеспечения – 70-75 тыс. шт./га и при недостаточном уровне влагообеспечения – 65-70 тыс. шт./га.

Исходная влажность почвы на момент посева в слоях от 0 до 15 см находилась в диапазоне от 18,8 % до 26,6 % и отвечала агротехническим тре-

бованиям (до 30 %), при твердости почвы от 0,3 до 1,2 МПа, что также соответствовало агротехническим требованиям (до 4 МПа). Такая характеристика условий была типичной для данного периода года и вида работы, что способствовало быстрому и дружному появлению всходов.

Поверхностное дифференцированное внесение основной дозы минеральных удобрений (аммиачная селитра) после посева кукурузы на зерно было проведено 06.04.2020 г. агрегатом МТЗ-82+Vogballe M2+«Агронавигатор-АСУР-Дозатор» (рисунок 5), согласно карты-задания (рисунок Б.2 приложения Б).



Рисунок 5 – Общий вид разбрасывателя минеральных удобрений Vogballe M2 в агрегате с трактором МТЗ-82 на дифференцированном внесении основной дозы минеральных удобрений после посева кукурузы на зерно

Довсходовое боронование кукурузы на зерно и закрытие удобрений провели бороной БШ-12 в агрегате с трактором МТЗ-82 в день внесения минеральных удобрений.

Химическая прополка посевов кукурузы на зерно была проведена 12.05.2020 г. препаратом «Майстер» с дозой внесения 150 г/га агрегатом МТЗ-82+ОПГ-3000/24 серии «Гварта-5».

Первая междурядная культивация посевов кукурузы на зерно проводилась 21.05.2020 г. культиватором КРН-5,6 в агрегате с трактором МТЗ-82, средняя глубина обработки составила 9,3 см.

Вторая междурядная культивация посевов кукурузы на зерно с долотованием на глубину – 13,3 см проводилась 02.06.2020 г., при этом агрегат обеспечил полное подрезание сорных растений, повреждений культурных растений не наблюдалось.

Наряду с междурядными обработками почвы провели листовую подкормку посевов кукурузы на зерно 28.05.2020 г. следующими препаратами: сульфат цинка (1 кг/га) + гумат калия (0,5 л/га). Подкормка карбамидом была проведена 12.06.2020 г. в дозе 18 кг/га. Данные технологические операции проводили агрегатом МТЗ-82+ОПГ-3000/24 серии «Гварта-5» с расходом рабочей жидкости – 200 л/га.

4 Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений

Фенологические наблюдения – это наблюдения за сезонными явлениями и процессами в жизни растений и предсказание сроков их наступления. При проведении фенологических наблюдений регистрируют даты и сроки наступления фаз развития растений, дают информацию о динамике развития растений в течение годового цикла в сопоставлении с гидрометеорологическими условиями.

4.1 Озимая пшеница

Первый контроль за всходами озимой пшеницы был осуществлен 02.11.2019 г. (рисунок 6). По всем вариантам опытов были получены хорошие дружные всходы озимой пшеницы. Средняя всхожесть растений по полю 11/1 составила 293 шт. / м².



Рисунок 6 – Контрольные наблюдения за всходами озимой пшеницы

На опытном поле были заложены контрольные площадки в каждой точке почвенного плодородия (рисунок Б.1 приложения Б), площадью 1 м² (рисунок 7), на которых и осуществлялись фенологические наблюдения за ростом и развитием растений по вариантам опытов вплоть до уборки урожая.



Рисунок 7 – Контрольная площадка для проведения фенологических наблюдений

Для сравнения на поле было заложено – 18 площадок, 6 точек по 3 повторности, в зонах плодородия высокой, средней и низкой, на участках с дифференцированным (1, 2, 3) и хозяйственным (4, 5, 6) внесением минеральных удобрений.

В осенний период в фазе трех листьев растения озимой пшеницы предъявляют повышенные требования к обеспеченности почвы влагой и питательными веществами в доступной для растений форме. В этот период при благоприятных условиях идет накопление питательных веществ, необходимых для своевременного кущения и развития корневой системы. В итоге, в зиму растения озимой пшеницы во всех вариантах опытов ушли с развитой корневой системой и хорошо раскустившиеся.

Весной, после подкормок 27.03.2020 г. произвели осмотр опытного поля озимой пшеницы и определили следующие основные параметры растений: высоту растений, длину корневой системы, коэффициент кущения по всем вариантам опытов (рисунок 8).



Рисунок 8 – Общий вид посевов озимой пшеницы после проведения весенних подкормок

Параметры растений озимой пшеницы замеряли в каждой опытной точке, затем в зависимости от зоны плодородия и общей дозы внесения удобрений рассчитывали средние значения по каждому показателю (таблица 1).

Общая доза удобрений включает в себя: дозу удобрений при двух поверхностных подкормках озимой пшеницы (200+200, 150+150, 100+100).

Таблица 1 – Усредненные параметры растений озимой пшеницы по зонам плодородия

Номер точки (площадки)	Зона плодородия	Общая доза удобрений, кг/га	Длина корневой системы, см	Средняя высота растения, см	Коэффициент кущения
1	высокая	400	8,7	25,6	3,8
2	средняя	300	8,7	26,0	3,8
3	низкая	200	10,5	22,9	2,9
4	высокая	300	8,6	24,1	3,0
5	средняя	300	9,4	22,8	3,7
6	низкая	300	9,9	25,5	3,8

Из таблицы видно, что у растений озимой пшеницы в зоне с низким уровнем плодородия в точках при дифференцированном внесении минеральных удобрений корневая система развивается лучше при общей дозе внесе-

ния удобрений – 200 кг/га. С увеличением дозы удобрений до 400 кг/га происходит замедление роста корневой системы на 1,8 см.

Высота растений при общей дозе внесения – 300 кг/га в средней зоне наибольшая и составляет – 26,0 см, в точках при дифференцированном внесении минеральных удобрений, а при увеличении и уменьшении дозы внесения наблюдается уменьшение роста растений до 25,6 и 22,9 см соответственно. В точках при хозяйственном внесении минеральных удобрений при общей дозе внесения – 300 кг/га в низкой зоне плодородия высота растений наибольшая и составляет – 25,5 см, что на 1,7 см больше чем в средней зоне плодородия и на 1,4 см больше чем в высокой зоне.

Сравнительный анализ параметров растений озимой пшеницы по зонам плодородия показал, что, не смотря на слабо развитую корневую систему в зоне с высоким и средним уровнем плодородия при дифференцированном внесении минеральных удобрений, высота растений на участках с дозами внесения удобрений 400 и 300 кг/га существенно выше и достигает 25,6 и 26,0 см соответственно. А при хозяйственном внесении с дозами внесения удобрения 300 кг/га в зоне низкого плодородия корневая система и высота растений наибольшая, чем в зонах средней и высокой.

Интенсивность кущения зависит от различных природных факторов: плодородия почвы, обеспеченности влагой, температурного режима, интенсивности освещения и т.д., которые не поддаются регулированию человеком, но оказывают значительное влияние на кущение. Установлено, что самый высокий коэффициент кущения – 3,8 наблюдается в зонах с высоким и средним уровнем плодородия на контрольных площадках с дозой внесения удобрений – 400 и 300 кг/га при дифференцированном внесении минеральных удобрений, а также при хозяйственном внесении – 3,8 в низкой зоне плодородия при дозе внесения минеральных удобрений 300 кг/га.

Фенологические наблюдения за ростом и развитием растений озимой пшеницы в фазу колошения провели 14.05.2020 г.

Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Таня» РС-2 в фазе колошения представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Таня» РС-2 по предшественнику кукуруза на зерно

Параметры растений озимой пшеницы в фазе колошения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры растений озимой пшеницы по вариантам опыта в различных зонах плодородия в фазе колошения

Номер точки (площадки)	Зоны плодородия	Общая доза удобрений, кг/га	Средняя высота растения, см	Длина колоса, см	Число растений, шт./м ²
1	высокая	400	49,3	9,6	798
2	средняя	300	45,8	8,2	703
3	низкая	200	42,0	7,6	658
4	высокая	300	46,3	8,5	756
5	средняя	300	45,4	8,0	714
6	низкая	300	41,7	7,5	660

Из таблицы видно, что у растений озимой пшеницы в зоне с высоким уровнем плодородия при хозяйственном внесении с дозами удобрения 300 кг/га высота растений составляет – 46,3 см, а с увеличением дозы удоб-

рений до 400 кг/га при дифференцированном внесении минеральных удобрений происходит увеличение роста высоты растений на 3,0 см. Длина колоса растений при дифференцированном внесении с дозой удобрения 400 кг/га наилучшая в высокой зоне плодородия и составляет – 9,6 см, а при хозяйственном внесении с дозами удобрения 300 кг/га в низкой зоне плодородия наблюдается уменьшение длины колоса на 2,1 см. Число растений в низкой зоне плодородия при хозяйственном внесении с дозами удобрения 300 кг/га составляет 660 шт./м², а с уменьшением дозы удобрений при дифференцированном внесении до 200 кг/га в низкой зоне практически не меняется – 658 шт./м². При увеличении дозы внесения до 400 кг/га наблюдается увеличение числа растений до 798 шт./м².

Сравнительный анализ параметров растений озимой пшеницы при дифференцированном внесении показал, что высота растений в высокой зоне плодородия на порядок выше и достигает 49,3 см, и длина колоса растений при дифференцированном внесении минеральных удобрений в высокой зоне наибольшая и составляет 9,6 см.

Установлено, что самое большое число растений 798 шт./м² наблюдается в зонах с высоким уровнем плодородия на контрольных площадках при дифференцированном внесении с дозами удобрения 400 кг/га.

4.2 Кукуруза на зерно

Первый контроль за всходами гибрид П9074 кукурузы на зерно был проведен 14 мая 2020 г. на опытном поле 2/2. По всем вариантам опытов были получены дружные всходы растений кукурузы. Средняя всхожесть растений по полю составила – 4,2 шт./п. м. На опытном поле были заложены контрольные площадки в каждой точке почвенной неоднородности: высокая 2, 1, 6 – база, низкая 4, 3, 5 – база, по две площадки (рисунок Б.2 приложения Б), на которых и осуществлялись фенологические наблюдения за ростом и развитием растений кукурузы на зерно по вариантам опытов вплоть до уборки урожая.

Общий вид растений кукурузы на зерно (гибрид П9074) в фазе полных всходов 14.05.2020 г. представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Общий вид растений кукурузы на зерно (гибрид П9074) по предшественнику озимая пшеница в фазе полных всходов

Параметры растений кукурузы на зерно в фазе полных всходов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры растений кукурузы на зерно в фазе полных всходов по вариантам опыта в различных зонах плодородия

Номер точки (площадки)	Зона плодородия	Средняя высота растений, см	Число растений, шт./п. м	Общая доза внесения удобрений, кг/га
1	высокая	8,4	3,6	100
2		9,4	3,7	200
6 (база)		8,9	3,6	150
4	низкая	10,5	5	100
3		7,7	4,5	200
5 (база)		9,1	4,8	150

Из таблицы видно, что растения кукурузы на зерно в зоне с низким уровнем плодородия развиваются лучше при дозе внесения удобрений – 100 кг/га, а с увеличением дозы удобрений до 200 кг/га происходит замедле-

ние роста высоты кукурузы на 2,8 см. Высота растений при дозе внесения – 100 кг/га составляет – 10,5 см, а при дозе внесения 200 кг/га – 7,7 см. В зоне с низким уровнем плодородия наибольшая густота растений кукурузы получена при внесении минеральных удобрений в варианте с дозой внесения – 100 кг/га и составляет 5,0 шт./п. м. В зоне с высоким уровнем плодородия при дозе внесения удобрений – 200 кг/га высота растений кукурузы наибольшая – 9,4 см и показатель густоты растений получен наиболее высокий – 3,7 шт./пог. м.

Сравнительный анализ параметров растений кукурузы на зерно по зонам плодородия показал, что высота растений в зоне с низким уровнем плодородия на участках с дозами внесения удобрений 100 кг/га достигает 10,5 см, что на 1,1 см выше, чем в зоне с высоким уровнем плодородия при дозе внесения – 200 кг/га. При хозяйственной дозе 150 кг/га внесения удобрений по зонам плодородия лидирует 5 низкая: густота больше на 1,2 шт. /пог. м, высота на 0,2 см выше, чем в 6 высокой зоне плодородия.

Общий вид растений кукурузы на зерно (гибрид П9074) в фазе трубкования 09.06.2020 г. представлен на рисунке 11.

Параметры растений кукурузы на зерно в фазе трубкования представлены в таблице 4.

Из таблицы видно, что растения кукурузы на зерно в зоне с высоким уровнем плодородия развиваются лучше при общей дозе внесения удобрений – 100 кг/га, с увеличением дозы удобрений происходит замедление роста высоты растений кукурузы на 2,7 см. Высота растений при дозе внесения – 100 кг/га составляет – 72,4 см, а при хозяйственной дозе внесения 150 кг/га – 67,4 см и при дозе – 200 кг/га – 69,7 см соответственно. В зоне с низким уровнем плодородия при хозяйственной дозе внесения удобрений – 150 кг/га рост кукурузы наибольший – 61,9 см, при дальнейшем увеличении доз удобрений высота растений не увеличивается, а уменьшается на 5,9 см.



Рисунок 11 – Общий вид растений кукурузы на зерно в фазе трубкования (гибрид П9074) по предшественнику озимая пшеница

Таблица 4 – Параметры растений кукурузы на зерно в фазе трубкования по вариантам опыта в различных зонах плодородия

Номер точки (площадки)	Зона плодородия	Средняя высота растения, см	Общая доза внесения удобрений, кг/га
1	высокая	72,4	100
2		69,7	200
6 (база)		67,4	150
4	низкая	61,1	100
3		56,0	200
5 (база)		61,9	150

Сравнительный анализ параметров растений кукурузы на зерно по зонам плодородия показал, что высота растений в зоне с высоким уровнем плодородия на участках с дозами внесения удобрений – 100 кг/га достигает 72,4 см, что на 11,3 см выше, чем в зоне с низким уровнем плодородия при дозе внесения – 100 кг/га.

Общий вид растений кукурузы на зерно (гибрид П9074) в фазе созревания 10.07.2020 г. по предшественнику озимая пшеница представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Общий вид растений кукурузы на зерно (гибрид П9074) в фазе созревания по предшественнику озимая пшеница

Параметры растений кукурузы на зерно в фазе созревания представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры растений кукурузы на зерно в фазе созревания по вариантам опыта в различных зонах плодородия

Номер точки (площадки)	Зона плодородия	Средняя высота растения, см	Высота крепления нижнего початка, см	Диаметр стебля, мм	Число початков, шт.	Общая доза внесения удобрений, кг/га
1	высокая	313,0	113,1	24,7	1,8	100
2		298,1	108,3	24,3	1,7	200
6 (база)		311,8	110,0	24,2	1,7	150
4	низкая	292,2	105,6	21,2	1,2	100
3		292,5	107,5	21,5	1,2	200
5 (база)		307,7	113,4	21,1	1,4	150

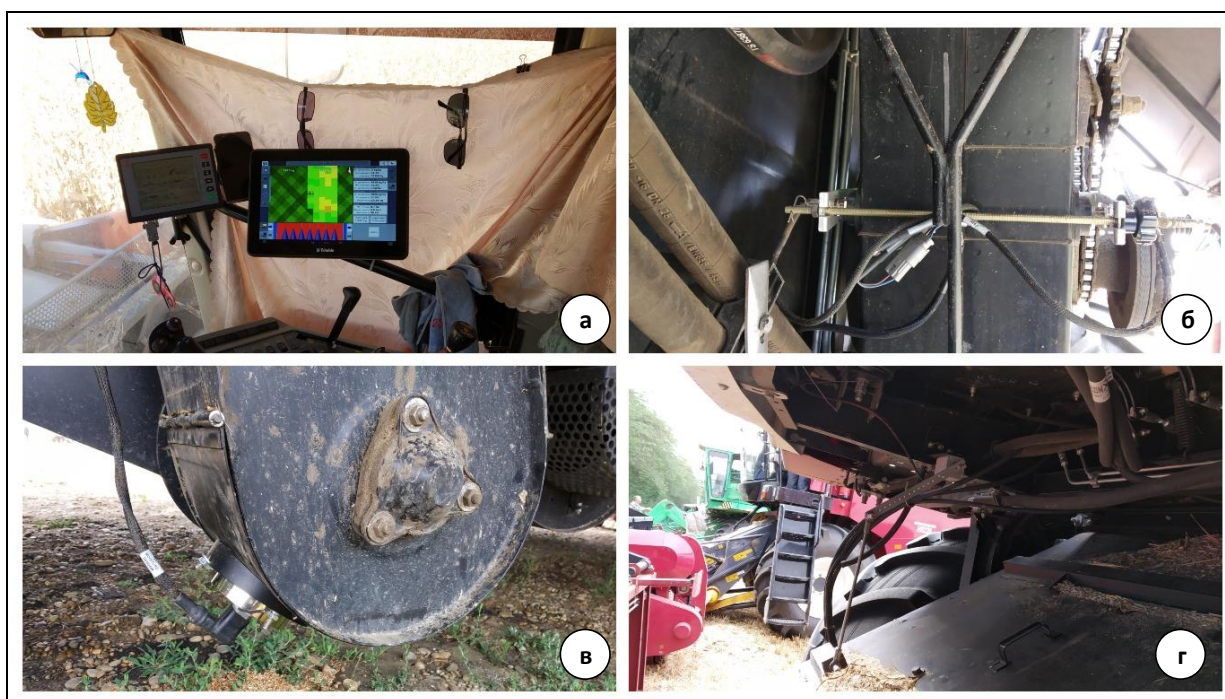
Из данных таблицы видно, что в зоне с низким уровнем плодородия при общей дозе внесения удобрений – 150 кг/га наблюдается наибольшая высота растений кукурузы на зерно – 307,7 см, высота крепления нижнего початка у растений – 113,4 см, диаметр стебля – 21,1 мм, среднее число початков составляет 1,4 шт. С уменьшением или увеличением доз удобрений происходит замедление роста высоты кукурузы на 15,2-15,5 см, высота крепления нижнего початка меньше на 5,9-9,8 см, диаметр стебля увеличивается на 0,1 и на 0,4 мм, среднее число початков составляет – 1,4 шт.

Растения кукурузы на зерно в зоне с высоким уровнем плодородия развиваются лучше, высота культуры наибольшая – 313,0 см, высота крепления нижнего початка у растений наилучшая – 113,1 см, диаметр стебля составляет – 24,7 мм, среднее число початков составляет 1,8 шт. при общей дозе внесения удобрений – 100 кг/га. При уменьшении или увеличении доз удобрений происходит замедление роста высоты кукурузы от 2,2 до 15,9 см, уменьшается диаметр стебля растения от 0,4 до 0,5 мм, среднее число початков составляет – 1,7 шт.

Сравнительный анализ параметров растений кукурузы на зерно по зонам плодородия показал, что в зоне с высоким уровнем плодородия на участках с дозами внесения удобрений – 100 кг/га наилучшие высота растений достигает – 313,0 см, диаметр стебля – 24,7 мм, а среднее число початков составляет 1,8 шт. на одном растении, чем в зонах с низким уровнем плодородия при дозах внесения – 100, 150, 200 кг/га и в зонах с высоким уровнем плодородия при дозах внесения – 150 и 200 кг/га минеральных удобрений.

5 Сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно на участках с низкими и высокими относительными уровнями почвенного плодородия

Для определения урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно соответственно на опытных полях 11/1 и 2/2 валидационного полигона КубНИИТиМ по зонам плодородия, согласно рабочей программы исследований было проведено сплошное картирование в оптимальные агротехнические сроки. Самоходный зерноуборочный комбайн Полесье GS-12 для проведения картирования урожайности был оборудован системой Trimble YM (рисунок 13).



а – монитор ТМХ-2050; б – датчик урожайности;
в – датчик влажности; г – датчик высоты жатки

Рисунок 13 – Компоненты системы картирования урожайности Trimble YM, установленные на зерноуборочном комбайне Полесье GS-12

Перед проведением картирования урожайности, система была откалибрована в соответствии с инструкцией. В процессе картирования, для контроля точности работы системы Trimble YM, периодически, параметры загрузки бункера (масса убранного зерна и средняя влажность зерна) повторно измерялись на приемном пункте.

Результаты картирования урожайности озимой пшеницы и кукурузы на зерно (карты урожайности) приведены на рисунках В.1, В.2 приложения В.

5.1 Озимая пшеница

Перед уборкой опытного поля 11/1 озимой пшеницы по вариантам опыта был проведен предуборочный отбор снопов с целью определения параметров растений.

Условия уборки были типичные для данного вида работ: влажность почвы в слое 0-10 см в среднем составляла от 12,8 % до 14,5 %, твердость почвы находилась в диапазоне от 0,3 до 1,2 МПа, растения находились в полной спелости во всех вариантах опыта, влажность зерна варьировала от 10,3 % до 11,9 %, что соответствует требованиям к уборке озимой пшеницы.

Уборку озимой пшеницы сорта «Таня» РС-2 по предшественнику кукуруза на зерно провели с 30.06 по 01.07.2020 г. зерноуборочным комбайном Полесье GS-12, оборудованным системой картирования урожайности Trimble Yield Monitoring (рисунки 14-15).



Рисунок 14 – Общий вид зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 на уборке опытного поля озимой пшеницы



Рисунок 15 – Общий вид монитора Trimble TMX-2050 в кабине зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 при картировании урожайности озимой пшеницы

Параметры растений озимой пшеницы после ручного разбора снопов и показатели урожайности, полученные после картирования и их обработки в программном обеспечении Trimble AG Software представлены в таблице 6.

Из таблицы видно, что у растений озимой пшеницы в зоне с низким уровнем плодородия высота растений при дифференцированном внесении минеральных удобрений с общей дозой – 200 кг/га составила 47,4 см, что выше на 0,4 см, чем при хозяйственном внесении с общей дозой – 300 кг/га. Длина колоса в низкой зоне составляет 6,8 и 7,0 см, влажность зерна – 10,3 % и 10,8 %, масса 1000 зерен – 36,6 и 38,5 г, среднее отношение массы зерна к массе соломы 1:1,7 и 1:2,1 соответственно при дифференцированном и хозяйственном внесении минеральных удобрений.

В зоне со средним уровнем плодородия при дифференцированном внесении минеральных удобрений с общей дозой – 300 кг/га, высота растений получена – 51,1 см, а при хозяйственном внесении с общей дозой – 300 кг/га, она составила – 47,0 см, что выше на 4,1 см.

Таблица 6 – Усредненные параметры растений озимой пшеницы по дозам внесения минеральных удобрений в различных зонах плодородия на поле 11/1

Номер точки (площадки)	Зона плодородия	Средняя высота растения, см	Отношение массы зерна к массе соломы	Масса зерна с площадки 1 м ² , г	Масса соломы с площадки 1 м ² , г	Средняя длина колоса, см	Влажность зерна, %	Масса 1000 зерен, г	Уборочная урожайность, ц/га	Урожайность в пересчете на стандартную влажность, ц/га	Общая доза подкормок удобрений, кг/га
1	высокая	51,3	1:1,8	441,2	792	7,7	11,0	43,0	44,1	45,7	400
2	средняя	51,1	1:2,0	377,2	769,6	6,7	11,9	38,7	37,7	38,6	300
3	низкая	47,4	1:1,7	325,2	546,8	6,8	10,3	36,6	32,5	33,9	200
4	высокая	49,6	1:2,0	381,1	770,4	7,4	11,0	40,8	38,1	39,4	300
5	средняя	47,0	1:2,1	368,0	757,2	7,2	10,8	39,5	36,8	38,2	300
6	низкая	47,0	1:2,1	328,0	675,8	7,0	10,8	38,5	32,8	34,0	300

Длина колоса в средней зоне составляет 6,7 и 7,2 см, влажность зерна 11,9 % и 10,8 %, масса 1000 зерен – 38,7 и 39,5 г, среднее отношение массы зерна к массе соломы 1:2 и 1:2,1 соответственно при дифференцированном и хозяйственном внесении минеральных удобрений.

В зоне с высоким уровнем плодородия при дифференцированном внесении минеральных удобрений с общей дозой – 400 кг/га, высота растений получена – 51,3 см, а при хозяйственном внесении с общей дозой – 300 кг/га, она составила – 49,6 см, что выше на 0,7 см. Длина колоса в высокой зоне составляет 7,7 и 7,4 см, влажность зерна одинаковая – 11,0 %, масса 1000 зерен – 43,0 и 40,8 г, среднее отношение массы зерна к массе соломы 1:1,8 и 1:2 соответственно при дифференцированном и хозяйственном внесении минеральных удобрений.

Сравнительный анализ продуктивности растений озимой пшеницы по зонам плодородия показал, что при дифференцированном внесении минеральных удобрений, увеличение дозы удобрений с 200 до 400 кг/га приводит к росту урожайности от 33,9 до 45,7 ц/га, а при хозяйственном внесении с дозой 300 кг/га увеличивается в средней и высокой зоне до 38,2 и 39,4 ц/га соответственно.

Установлено, что самый высокий показатель урожайности при дифференцированном внесении – 45,7 ц/га наблюдается на контрольных площадках с дозой внесения удобрений – 400 кг/га в зонах с высоким уровнем плодородия.

Валовый сбор зерна при дифференцированном внесении с площади 36 га составил – 143,64 т, средняя урожайность – 39,9 ц/га, а при хозяйственном внесении удобрений с площади 36 га валовый сбор зерна составил – 135,0 т, средняя урожайность – 37,5 ц/га.

Установлено, что дополнительный доход, полученный от прибавки урожая в 2,4 ц/га, при одинаковом количестве внесенных минеральных удобрений на двух весенних подкормках озимой пшеницы, за счет дифференцированного перераспределения части удобрений из зон с низким уровнем плодородия почвы в зоны со средним и высоким уровнями, при цене реализации

зерна озимой пшеницы – 10 руб./кг, составил:

$$10 \text{ руб./кг} \times 240 \text{ кг/га} = 2400 \text{ руб./га.}$$

Таким образом, дополнительный доход с участка опытного поля площадью в 36 га составил 86,4 тыс. руб.

5.2 Кукуруза на зерно

Перед уборкой опытного поля 2/2 кукурузы на зерно по вариантам опыта был проведен предуборочный мониторинг с целью определения параметров растений.

Условия уборки были типичные для данного вида работ: влажность почвы в слое 0-10 см в среднем составляла от 14,3 % до 15,1 %, твердость почвы находилась в диапазоне от 0,5 до 1,5 МПа, растения находились в полной спелости во всех вариантах опыта, влажность зерна варьировала от 13,9 % до 17,8 %, что соответствует требованиям к уборке кукурузы на зерно.

Уборку кукурузы на зерно (гибрид П9074) по предшественнику озимая пшеница провели с 09.09 по 10.09.2020 г. зерноуборочным комбайном Полесье GS-12, оборудованным системой картирования урожайности Trimble Yield Monitoring (рисунки 16-17).



Рисунок 16 – Общий вид зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 на уборке опытного поля кукурузы на зерно



Рисунок 17 – Общий вид монитора Trimble TMX-2050 в кабине зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 при картировании урожайности кукурузы на зерно

Параметры растений кукурузы на зерно после мониторинга и показатели урожайности, полученные после картирования и их обработки в программном обеспечении Trimble AG Software представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры растений кукурузы на уборке по дозам внесения минеральных удобрений в различных зонах плодородия

Но- мер точ- ки	Зона пло- дородия	Дли- на по- чатка, см	Диа- метр по- чатка, мм	Масса 1000 зерен, г	Влаж- ность зерна, %	Убороч- ная урожай- ность, ц/га	Урожайность в пересчете на стандарт- ную влаж- ность, ц/га	Общая доза вне- сения удобре- ний, кг/га
1	высокая	20,6	47,7	366	15,8	114,3	111,9	100
2		20,6	47,5	352	15,6	113,5	111,4	200
6		20,7	48,9	356	17,8	110,8	105,9	150
4	низкая	18,3	44,3	292	13,9	104,6	104,7	100
3		19,2	44,7	300	14,9	103,4	102,3	200
5		19,6	44,7	303	15,1	111,1	109,7	150

Из таблицы видно, что у растений кукурузы в зоне с низким уровнем плодородия наибольшая длина початка – 19,6 см, получена при дифференци-

рованном внесении минеральных удобрений с хозяйственной дозой – 150 кг/га, что выше на 0,4 и 1,3 см, чем в вариантах с увеличением и уменьшением дозы удобрений. Также в этом варианте получен и самый высокий диаметр початка – 44,7 мм.

Длина початка в высокой зоне получена примерно на одном уровне 20,6 и 20,7 см во всех вариантах. Самый наибольший диаметр початка – 48,9 мм, был получен в варианте с хозяйственной дозой – 150 кг/га.

Масса 1000 зерен при дифференцированном внесении удобрений в высокой зоне плодородия варьировала от 352 до 366 г, при влажности зерна – 15,6 % – 17,8 %. В зоне с низким уровнем плодородия масса 1000 зерен составила – 292-303 г, при влажности зерна – 13,9 % – 15,1 %.

Наибольшая урожайность – 111,9 ц/га получена в зоне с высоким уровнем плодородия в варианте с дозой внесения – 100 кг/га. Установлено, что в данной зоне увеличивать дозу внесения удобрений не целесообразно, т.к. это приводит к снижению урожайности.

В зоне с низким уровнем плодородия рекомендуется вносить удобрения с хозяйственной дозой внесения – 150 кг/га, т.к. при этой дозе получена самая высокая урожайность – 109,7 ц/га. Установлено, что в данной зоне увеличение или уменьшение дозы удобрений приводит к снижению урожайности.

Сравнительный анализ продуктивности растений кукурузы на зерно по зонам плодородия показал, что при дифференцированном внесении минеральных удобрений наиболее высокая урожайность – 111,9 ц/га получена в зоне с высоким уровнем плодородия, при дозе внесения удобрений – 100 кг/га и что на 2,2 ц/га выше, чем самая высокая урожайность в зоне с низким уровнем плодородия – 109,7 ц/га, при дозе внесения удобрений – 150 кг/га.

На экспериментальном поле 2/2, площадью – 80 га имеется две зоны плодородия (высокая и низкая) по 40 га каждая (рисунок А.2, приложение А).

Следовательно, в зоне с высоким уровнем плодородия, при урожайности – 111,9 ц/га, валовый сбор зерна составит – 447,6 т, а при урожайности – 109,7 ц/га, валовый сбор зерна составит – 438,8 т.

Проведем для зоны с высоким уровнем плодородия прогнозируемый расчет дополнительного дохода от прибавки урожайности и снижения затрат на удобрения, при дозе 100 кг/га, по сравнению с дозой – 150 кг/га:

- снижение затрат на удобрения составит:

$$(150-100) \times 17 \text{ руб./кг} = 850 \text{ руб./га} \times 40 \text{ га} = 34000 \text{ руб.}$$

- стоимость дополнительно полученной продукции от прибавки урожайности:

$$111,9 - 105,9 = 6 \text{ ц/га} \times 100 \times 8 \text{ руб./кг} \times 40 \text{ га} = 192000 \text{ руб.}$$

- дополнительный доход от прибавки урожайности и снижения затрат на удобрения по сравнению с хозяйственной дозой внесения составит:

$$192000 + 34000 = 226000 \text{ руб.}$$

Проведем для зоны с низким уровнем плодородия прогнозируемый расчет дополнительного дохода от прибавки урожайности с учетом дополнительных затрат на удобрения, при дозе 150 кг/га, по сравнению с дозой – 100 кг/га:

- увеличение затрат на удобрения составит:

$$(150-100) \times 17 \text{ руб./кг} = 850 \text{ руб./га} \times 40 \text{ га} = 34000 \text{ руб.}$$

- стоимость дополнительно полученной продукции от прибавки урожайности:

$$109,7 - 104,7 = 5 \text{ ц/га} \times 100 \times 8 \text{ руб./кг} \times 40 \text{ га} = 160000 \text{ руб.}$$

- дополнительный доход от прибавки урожайности с учетом дополнительных затрат на удобрения составит:

$$160000 - 34000 = 126000 \text{ руб.}$$

Таким образом, в зоне с высоким уровнем плодородия при сниженной по сравнению с хозяйственной дозой внесения удобрений до 100 кг/га, с площади 40 га, дополнительный доход полученный от прибавки урожая (6 ц/га) с учетом снижения затрат на удобрения составил – 226 тыс. руб. В зоне с низким уровнем плодородия по сравнению со сниженной дозой внесения (100 кг/га), с такой же площади, дополнительный доход полученный от прибавки урожая (5 ц/га) с вычетом дополнительных затрат на удобрения, составил – 126 тыс. руб., при хозяйственной дозе внесения – 150 кг/га.

6 Методика создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений

Множеством исследований [3], [4], [15], [22], [23], [46]–[49] установлено, что распределение питательных веществ по полю происходит неравномерно, при этом одинаковая норма внесения удобрений для всей площади поля лишь усугубляет ситуацию и приводит к переизбытку питательных веществ на одних участках и к дефициту на других. Для исправления данной ситуации на различных участках поля дифференцированно вносят удобрения в зависимости от потребности растений. Соответственно для данного способа необходима разработка методики создания карт-заданий на дифференцированное внесение удобрений.

6.1 Область применения

Настоящая методика предназначена для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение минеральных удобрений на основе карт урожайности и карт индекса вегетации растений.

Методика заключается в создании электронной карты поля, определении показателей урожайности предшествующей культуры, создании электронной карты урожайности, карт вегетационного индекса, полученных с помощью съемки с БПЛА и в разработке карт-заданий на внесение основной дозы удобрений и на подкормках растений.

6.2 Номенклатура определяемых показателей

- координаты точек границ поля;
- координаты точек границ элементарных участков поля;
- урожайность, кг/га;
- основная доза удобрений, кг/га;
- индекс вегетации NDVI;

- доза удобрений при подкормках растений, кг/га.

6.3 Методы определения показателей

6.3.1 Координаты точек границ поля определяют следующими способами:

- по данным дистанционного зондирования земли (например, в программе «Google Планета Земля» создают в разделе «Мои метки» новую папку с названием электронной карты поля «pk_номер поля», затем находят расположение своего поля и прорисовывают по точкам контура поля инструментом «многоугольник», после чего сохраняют папку (электронную карту) в формате KML «pk_номер поля.kml», далее в конвертере переводят ее в shape-файл [50];

- по характерным точкам границ поля при помощи ручного навигатора (типа Garmin ETREX VENTURE HC и др.) проводят наземные измерения координат точек границ, после чего на стационарном компьютере в специализированной программе типа ArcGIS и др. создают электронную карту поля [51];

- объездом границ поля с использованием GPS-приемника типа StarFire 3000 и др. с их непосредственной фиксацией в реальном времени в электронной карте программы типа «ГЕО-Учетчик» и др. [52];

- облётom поля при помощи беспилотного летательного аппарата с последующей передачей данных в специализированное программное обеспечение типа Гис Спутник Агро и др. в котором строят по полученным координатам электронную карту границ поля и переводят её в shape-файл [53].

Действующие требования по точности определения контуров сельскохозяйственных угодий устанавливают следующие среднеквадратические погрешности местоположения характерных точек границ земельного участка [54]:

- для земельных участков, отнесенных к землям сельскохозяйственного назначения $\pm 2,5$ м;

- для земельных участков, отнесенных к землям сельскохозяйственного назначения и предоставленных для ведения личного подсобного, дачного хозяйства, огородничества, садоводства $\pm 0,2$ м.

Перспективные требования по точности определения контуров сельскохозяйственных угодий, предназначенных для ведения точного земледелия с использованием глобальных навигационных спутниковых систем: ГЛОНАСС, GPS и др. предполагают точность порядка 5-15 см [55].

6.3.2 Показатели урожайности определяют путем уборки с.-х. культур зерноуборочным комбайном, оборудованным системой картирования урожайности: датчики урожайности, влажности, высоты подъема жатки, бортовой компьютер и GPS-приемник. Перед определением урожайности в бортовой компьютер комбайна переносят на флеш-накопителе shape-файл с электронной картой границ поля, заносят информацию об убираемой культуре (тип, сорт, допустимая влажность уборки, удельный вес зерна на единицу объема) и об установленном на зерноуборочный комбайн адаптере для уборки культуры (тип, ширина захвата, геометрические параметры расположения адаптера относительно антенны приемника GPS).

Картирование урожайности проводят следующим образом: датчики урожайности и влажности измеряют поток и влажность зерна, поступающего в бункер, в это же время система GPS собирает данные о местоположении комбайна (текущие координаты) и записывает их в память компьютера с указанием урожайности, кг/га сельскохозяйственной культуры в данной точке [56], а по показаниям датчика высоты подъема жатки, система определяет, происходит ли в данный момент скашивание убираемой культуры. Во время работы системы, оператору, в текстовом и графическом формате, предоставляется информация о мгновенной урожайности и влажности культуры, скорости движения и производительности комбайна, количестве убранной и оставшейся площади на поле, количестве зерна в бункере, общем убранном количестве зерна (фактическом и в пересчете на сухое зерно), средней урожайности по полю и др. После окончания уборки, данные из бортового компьютера переносят на стационарный компьютер в специализированное ПО типа Trimble Ag Software и др., где формируют электронную карту урожайности с привязками на местности. Далее по сформированной карте устанавли-

ливают проблемные участки с низкой урожайностью, производят агрохимический анализ почвы этих участков, рассчитывают дозы для дифференцированного внесения удобрений на этих участках и стабилизации посевов на всем полевым массиве.

6.3.3 Расчет основной дозы удобрений для каждого элементарного участка поля производят расчетно-балансовым методом [25], по формуле

$$D_o = \frac{Y_{\text{п}} \cdot B - (П \cdot K_{\text{п}} + M_{\text{р}} \cdot P_o \cdot K_{\text{р}})}{K_{\text{м}}}, \quad (1)$$

где D_o – доза удобрения в действующем веществе, кг/га;

$Y_{\text{п}}$ – планируемая урожайность, ц/га;

B – вынос элемента минерального питания на единицу планируемого урожая, кг;

$П$ – содержание в почве доступных питательных веществ, кг/га;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент использования питательных веществ NPK почвы, %;

$M_{\text{р}}$ – масса заделываемых растительных остатков, т/га;

P_o – содержание NPK в 1 тонне растительных остатков, кг/т;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент использования питательного вещества из растительных остатков, %;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент использования питательного вещества из минеральных удобрений, %.

После анализа и обработки данных картирования урожайности в ПО формируется электронная карта-задание на внесение основной дозы удобрений по заданному оператором алгоритму внесения доз, которая записывается непосредственно в форматы наиболее распространенных систем точного земледелия (AGCO, AgLeader, John Deere, Trimble и др.), либо экспортируется в Shape-файл (shp). При использовании второго варианта сформированный файл shp экспортируют в программу «Google Планета Земля» и преобразуют его в

формат kml, необходимый для работы системы для дифференцированного внесения удобрений типа Агронавигатор АСУР-Дозатор и др.

Создание карты-задания на дифференцированное внесение удобрений в программе «Google Планета Земля», происходит следующим образом:

- импортируют сформированный Shape-файл карты-задания;
- создают в разделе «Мои метки» программы новую папку с названием карты-задания, например: «рк_номер поля»;
- вводят для каждой ячейки в меню «Свойства» данные о номере ячейки и заданной дозе внесения удобрений в формате, воспринимаемым системой типа Агронавигатор АСУР-Дозатор;
- сохраняют папку в формате KML «рк_номер поля.kml».

Затем карта-задание на переносном носителе заносится в бортовой компьютер трактора, сагрегатированного с разбрасывателем минеральных удобрений, оборудованным системой автоматического дозирования, что обеспечивает при работе разбрасывателя минеральных удобрений дифференцированное их внесение.

6.3.4 Индекс вегетации NDVI

Для определения индекса вегетации NDVI проводят детальную аэрофотосъемку поля при помощи беспилотного летательного аппарата самолетного типа Геоскан-201, квадрокоптера DJI Phantom 4 или др. [53], [57]–[58]. Маршрут полета БПЛА составляют так, чтобы перекрытие снимков составляло 60 % по вертикали и 80 % по горизонтали для четкой фиксации участков поля одновременно на нескольких кадрах. Далее полученные изображения в расширении RAW с мультиспектральной камеры БПЛА переносят на стационарный компьютер, обрабатывают их в фотограмметрических программных комплексах и по совпадающим признакам склеивают в единый файл – электронную карту биомассы растений, содержащую значения нормализованного индекса вегетации сельскохозяйственной культуры в пределах обследованного поля. Индекс NDVI – это стандартизированный индекс, который использует контраст характеристик двух каналов из набора мультиспектральных каналов.

тиспектральных растровых данных – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале и высокой отражательной способности растительного сырья в инфракрасном канале (NIR).

Данный индекс рассчитывают в соответствии с [59], [60] по формуле

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

где NIR – коэффициент спектральной яркости в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн (800-1100 нм);

RED – коэффициент спектральной яркости в красном диапазоне длин волн (620-740 нм).

Из приведенной формулы следует, что высокая фотосинтетическая активность, связанная с густой растительностью, приводит к уменьшению отражательной способности объекта в красной зоне спектра и к увеличению в зоне ближнего инфракрасного. Благодаря этому появляется возможность на основе съемок с БПЛА проводить картирование растительного покрова, выявлять участки поля, покрытые и непокрытые растительностью, оценивать плотность, всхожесть, состояние растений, а с помощью регулярного мониторинга наблюдать развитие растений в динамике. Также на основании значения индекса NDVI возможно прогнозировать урожайность культуры. Наиболее точный прогноз урожайности посевов можно дать в момент прохождения пика значения NDVI. Например, для посевов озимой пшеницы, значение NDVI во время пика достигает 0,80-0,88 [26], [61], [62]. Пик NDVI обычно приходится на момент начала фазы колошения. Зная потенциальную урожайность сорта, и величину индекса, можно сделать прогноз, что при таком значении NDVI урожайность будет максимальной для данного сорта. Если в фазу колошения NDVI достигнет значения всего 0,60-0,65, то это означает, что урожайность будет ниже максимальной на 20 %–25 %.

6.3.5 Дозу удобрений при подкормках растений определяют на основании данных электронной карты биомассы растений, полученной для зон поля с неоднородным состоянием растительного покрова.

Оптимальную дозу азотной подкормки рассчитывают из эмпирической зависимости между оптимальной дозой азотной подкормки и индексом вегетации для каждого пикселя полученного снимка поля согласно [63] по формуле

$$N = N_{\max} \cdot \frac{NDVI_{\max} - NDVI}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}, \quad (3)$$

где N – расчетная доза подкормки для определенного участка (пикселя),
кг/га;

N_{\max} – максимальная доза подкормки, задаваемая исходя из планируемой урожайности, кг/га;

$NDVI_{\max}$ – максимальное значение, задаваемое или определяемое по гистограмме NDVI;

$NDVI$ – значение вегетационного индекса, определяемое по данным, полученным с БПЛА;

$NDVI_{\min}$ – минимальное значение, задаваемое или вычисляемое по гистограмме NDVI.

При этом, если для данного пикселя полученное $NDVI$ больше, чем выбранное $NDVI_{\max}$, то значения N обнуляются, т. е. на эти участки поля азот не вносится. Если для пикселя $NDVI$ меньше выбранного $NDVI_{\min}$, то для этого пикселя значение N принимаются равными N_{\max} .

По приведенным выше формулам (2), (3) рассчитывают карты-задания для дифференцированной подкормки и определяют среднюю по полю дозу подкормки $N_{\text{ср}}$ для заданной величины N_{\max} . При этом, максимальная доза вносимых удобрений N_{\max} не должна превышать некоторую агротехническую норму. Также, на участках с угнетенным состоянием растительного покрова,

где значение NDVI существенно ниже $NDVI_{min}$, удобрения не вносят, что дает экономию удобрений и соответственно дополнительный экономический эффект.

Карты-задания на дифференцированные подкормки растений создают по аналогии с картой-заданием на основное внесение удобрений в программе «Google Планета Земля», с последующей загрузкой их в контроллеры техники для дифференцированного внесения удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось проведение исследований процесса уборки зерновых культур комбайном, оборудованным системой картирования урожайности, и разработка метода создания карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений.

По результатам проведенных исследований в рамках данной научно-исследовательской работы установлено, что:

- система картирования позволяет определять урожайность в реальном времени, создавать карты урожайности, определять ее изменения по локальным участкам полей, планировать основное дифференцированное внесение удобрений с учетом особенностей полей под следующую сельскохозяйственную культуру и проводить анализ экономической эффективности каждого поля;

- беспилотные летательные аппараты позволяют получать информацию по полям в виде электронных карт индекса вегетации, на основании которых возможно сформировать карту-задание на дифференцированные подкормки растений сельскохозяйственных культур;

- лучшая динамика по фазам развития растений озимой пшеницы и кукурузы на зерно в течение годового цикла отмечена в зонах с высоким уровнем плодородия;

- дополнительный доход, полученный от прибавки урожая (2,4 ц/га), при одинаковом количестве внесенных минеральных удобрений на двух весенних подкормках озимой пшеницы, за счет дифференцированного перераспределения части удобрений из зон с низким уровнем плодородия почвы в зоны со средним и высоким уровнями, составил 2400 руб./га;

- дополнительный доход с участка опытного поля озимой пшеницы площадью в 36 га составил 86,4 тыс. руб.;

- по кукурузе на зерно в зоне с высоким уровнем плодородия при сниженной по сравнению с хозяйственной дозой внесения удобрений до 100 кг/га,

с площади 40 га, дополнительный доход полученный от прибавки урожая (6 ц/га) с учетом снижения затрат на удобрения составил – 226 тыс. руб.;

- в зоне с низким уровнем плодородия по сравнению со сниженной дозой внесения (100 кг/га), с такой же площади кукурузы на зерно, дополнительный доход полученный от прибавки урожая (5 ц/га) с вычетом дополнительных затрат на удобрения, составил – 126 тыс. руб., при хозяйственной дозе внесения – 150 кг/га;

- разработанная методика позволит по итогам картирования урожайности предшествующей культуры, создать карту-задание на дифференцированное основное внесение минеральных удобрений под следующую сельскохозяйственную культуру, а по электронным картам индекса вегетации растений, полученным с БПЛА построить карты-задания на дифференцированные подкормки растений.

Для дальнейшего освоения и внедрения технологий координатного земледелия данную работу следует продолжить с целью апробации разработанной методики при производстве озимой пшеницы и расчета экономической эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2016, № 49, ст. 6887).

2 Пояснительная записка к предложению о реализации нового направления программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: [https://iotas.ru/files/documents/Пояснит. записка%20eAGRO%20fin%20000.pdf](https://iotas.ru/files/documents/Пояснит.записка%20eAGRO%20fin%20000.pdf) (дата обращения 06.05.2020).

3 Афанасьев Р.А., Беленков А.И. Внутрипольная вариабельность // Фермер. – 2016. – № 4 – С. 36–40.

4 Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Трубников А.В., Семизоров С.А. Технология точного земледелия: дифференцированное внесение удобрений с учетом внутриполевой неоднородности почвенно-земельного покрова / Техника и оборудование для села – № 2–2019. – С. 2–8.

5 Рухович А.Д., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Петухов Д.А., Рухович Д.И. Сравнительный анализ информативности вегетационных индексов и измерений урожайности сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия / XIX Междунар. науч.-междисциплинар. конф. SGEM Гео & Экспо 2019 (28 июня – 7 июля). – Болгария, Албена: SGEM Organizing Team, 2019. – С. 501–508.

6 Петухов Д.А., Таркинский В.Е., Иванов А.Б. К координатному земледелию // Информационный бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 44–46.

7 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 Международной науч.-практ. конф. Интерагромаш–2020). – Ростов-на-Дону: ДонГТУ, 2020. – Т. 1. С. 219–223.

8 Зубарев Ю.Н., Елисеев С.Л., Субботина Я.В. Модель внедрения прецизионного земледелия // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 8. – С. 12–13.

9 Любич В.А., Курамшин М.Р. Оценка плодородия чернозёмов южных с использованием ГИС-технологий и современных технических средств / Известия оренбургского государственного аграрного университета. – № 5. – 2014. – С. 66–69.

10 Якушев В.П. На пути к точному земледелию / В.П. Якушев. – Санкт-Петербург : Изд-во Петербургского института ядерной физики РАН, 2002. – 458 с.

11 Генин В.А. Использование информационных технологий в сельском хозяйстве // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения БГУ и 80-летию со дня рождения В.С. Аношко: Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование. – Минск: Белорусский государственный университет, 2018. – С. 353–358.

12 Белоусов С.В., Лепшина А.И. Внесение сыпучих материалов при помощи центробежных разбрасывателей. Существующие проблемы и пути их решения // Научный журнал КубГАУ, № 104 (10), 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf-129.pdf> (дата обращения 06.05.2020).

13 Бородина Н.А. Информационные технологии в агрохимии // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции : Современная наука в условиях модернизационных процессов: проблемы, реалии, перспективы. – Уфа: НИЦ Вестник Науки, 2020. – С. 82–85.

14 Афанасьев Р.А., Ермолов И.Л. О перспективах роботизации точного земледелия // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – № 12. – С. 828–833.

15 Шарифуллин Р.С., Чижиков В.Н., Паращенко В.Н., Слепцова О.И.

Способ выделения внутривольных контуров по обеспеченности фосфором и калием // Международная научная конференция : Достижения и перспективы развития селекции и возделывания риса в странах с умер. Климатом. – Краснодар: Всерос. науч.-исслед. ин-т риса, 2015. – С. 168–173.

16 Измайлов А.Ю. Точное земледелие: проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9–15.

17 Ущাপовский И.В., Мочкова Т.В., Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко А.Н. Аспекты изучения точного земледелия для культуры льна-долгунца // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции: Экология и сельскохозяйственные технологии: Агроинженерные решения. – Санкт-Петербург: Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, 2011. – С. 56–61.

18 Копылова Н.О., Яковлева А.И. Дифференциальное внесение веществ как элемент точного земледелия в ресурсосберегающих технологиях // Материалы международной научно-практической конференции : Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ. – Лесниково: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2018. – С. 547-550.

19 Труфляк Е.В. Дифференцированные технологии / Е.В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 44 с.

20 Махотлова М.Ш. Технологии и основные направления точного земледелия // Международный научный журнал «Символ науки». – 2016. – № 1. – С. 51–52.

21 Сычев В.Г., Афанасьев Р.А. Робототехника в технологиях точного земледелия // Плодородие. – 2016. – № 3. – С. 2–6.

22 Даниленко Ж.В., Шемякин А.В., Ерошкин А.Д., Андреев К.П., Костенко М.Ю., Терентьев В.В. Координатное внесение удобрений на основе полевого мониторинга // Вестник РГАТУ. – 2018. – № 4 (40). – С. 167–172.

23 Балабанов В.И., Березовский Е.В., Беленков А.И., Железова С.В. Дифференцированное внесение удобрений в точном земледелии // Фермер.

Поволжье. – 2016. – № 2. – С. 61–63.

24 Петухов Д.А., Чаплыгин М.Е., Свиридова С.А., Воронков И.В. Эффективность применения систем параллельного вождения на поверхностном внесении минеральных удобрений // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК (матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф.). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – С. 435–439.

25 Конев А.В. Автоматизация применения и методика совершенствования способов определения доз удобрений в системе точного земледелия: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. СПб., 2014. – 20 с.

26 Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. Учебное пособие / В.И. Балабанов и др. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. – 147 с.

27 Якушев В.В. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в системе точного земледелия. Международная школа молодых ученых и специалистов «Перспективные технологии для современного для современного сельскохозяйственного производства». 23–28 сентября 2007 г. СПб., АФИ, 2007. – С. 101–118.

28 Солдатов Ю.И., Казаров К.Р. Картирование урожайности зерновых культур // В сборнике: Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I; Редакционная коллегия: Василенко В.В., Гиевский А.М., Казаров К.Р., Солнцев В.Н., Тарасенко А.П., Чернышов А.В., Шатохин И.В.; под общей редакцией Н.И. Бухтоярова, В.И. Оробинского, И.В. Баскакова. – 2015. – С. 244–248.

29 Картирование урожайности / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 13 с.

30 Якушев В.П., Якушев В.В., Якушева Л.Н., Буре В.М. Электронная карта урожайности как информационная основа прецизионного внесения удобрений // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 16–19.

31 Клинк Г.В., Попескул А.Н. Оптимизация затрат при уборке зерновых культур посредством применения современных средств мониторинга урожайности // Вестник Приднестровского университета. – 2011. – № 3. – С. 97–101.

32 Митрофанов Е.П. Применение данных аэрофотосъемки в системе точного земледелия // Форум молодых ученых. – 2018. – № 12. – С. 348–354.

33 Abramov N.V., Semizorov S.A., Sherstobitov S.V., Gunger M.V., Petukhov D.A. Digitization of agricultural land using an unmanned aerial vehicle // В сборнике: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. – P. 32002.

34 Fedorenko V F, Mishchurov N P, Buklagin D S, Goltyapin V Ya and Golubev I G 2019 Digital agriculture: state and development prospects (M.: FSINI Rosinformagroteh) P. 316.

35 Марченко Л.А., Смирнов И.Г., Краснобородько В.В., Спиридонов А.Ю., Курбанов Р.К. Беспилотный летательный аппарат на базе гироплана для внесения пестицидов и удобрений // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 2. – С. 45–51.

36 Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun Chang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying. Computers and Electronics in Agriculture. – 2016. – No. 128. – P. 58–66.

37 Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Kolesnikova V.A., Marchenko L.A. Substantiation of parameters of unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system. Mechanization in agriculture & conserving of the resources. – 2017. – No. 5. – P. 168–171.

38 Marchenko L.A., Smirnov I.G., Lichman G.I., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A. Differentirovannoe vnesenie pestitsidov s ispol'zovaniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Differentiated application of pesticides using unmanned aerial vehicles]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. – 2017. – No. 4. – P. 17–23.

39 Андреев К.П., Аникин Н.В., Бышов Н.В., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Внедрение системы точного земледелия // Вестник РГАТУ. – 2019. – № 2. – С. 74–80.

40 Danilenko Zh.V. Koordinatnoe vneseniya udobreniy na osnove polevogo monitoringa / Zh.V. Danilenko, A.V. Shemyakin, A.D. Eroshkin, K.P. Andreev, M.Yu. Kostenko, V.V. Terentev // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. – № 4 (40). – P. 167–172.

41 Andreev K.P. Vnedrenie system monitoringa pri koordinatnom vnesenie udobreniy / K.P. Andreev, Zh.V. Danilenko // V sbornike: Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy Sbornik III Vserossiyskoy (nacional'noy) nauchnoy konferencii. – 2018. – P. 10–13.

42 Monitoring of agricultural lands by unmanned aerial vehicles and application of its results in land use designing as illustrated by the example of Menkovo branch of the Agrophysical Research Institute / A.I. Salaeva // Proceedings of IInd All-Russia Scientific Conference with International Participation 'Use of Earth Remote Sensing in Agriculture'. St. Petersburg, September 26–28, 2018. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2018. – P. 89 – 92.

43 Comparative evaluation of efficiency of agro-techniques used for precision management of nitrogen status of spring wheat on the basis of proximal and air sounding of crops / D. A. Matveenko, V. V. Iakushev, V. P. Iakushev // Proceedings of IInd All-Russia Scientific Conference with International Participation 'Use of Earth Remote Sensing in Agriculture'. St. Petersburg, September 26–28, 2018. – St. Petersburg: Agrophysical Research Institute, 2018. – P. 238 – 242.

44 Бутрова Е.В., Денисов Ю.В., Ковков Д.В., Скляр А.Е. Дистанционное зондирование Земли и современные концепции управления на примере сельскохозяйственной отрасли // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2019. – Т. 170. – № 3. – С. 28–39.

45 Balabanov V I, Fedorenko V F and Golyapin V Ya 2016 Technology, engineering and equipment for coordinate (precision) agriculture (M.: FSINI Rosinformagroteh) p 240.

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

47 Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // Агрохимия. – 2018. – № 9. – С. 40–49.

48 Шаповалов Д.А., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Куляница А.Л., Рухович Д.И. ASF-INDEX – карта устойчивой внутрислоевого плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных // Земельные отношения и землеустройство. – 2020. – № 1. – С. 9–15.

49 Петрова Г.В., Долматов А.П., Бакиров Ф.Г., Любич В.А., Попов С.В., Курамшин М.Р. Эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений на черноземах Оренбургского Предуралья // Земледелие и растениеводство. – 2014. – № 4. – С. 19–21.

50 Результаты исследований влияния зон плодородия на урожайность озимой пшеницы в технологиях координатного земледелия : отчет о НИР / Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех»; Федоренко В.Ф., Дробин Г.В., Петухов Д.А., Трубников А.В., Юрина Т.А., Бондаренко Е.В., Белик М.А., Свиридова С.А. [и др.]. Новокубанск, 2018. – 92 с.

51 Петухов Д.А., Назаров А.Н., Воронков И.В. «Современные способы измерения площадей полей» // Агронабформ – 2016. – № 2. – С. 15–17.

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

53 Петухов Д.А., Марченко В.О., Бондаренко Е.В. Элементы технологий точного земледелия, испытанные в условиях тестового полигона // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2018» (Новосибирская обл. р.п. Краснообск, 24–25 октября 2018 г.) / Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. - Новосибирская обл., р.п. Краснообск. Академиздат, 2018. – С. 437–443.

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

55 Побединский Г.Г., Сивцов И.А. Проблемы и перспективы информационного обеспечения государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения / Материалы Первой Всероссийской открытой конференции «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование» (8-10 октября 2014 г.). – М. – Почвенный институт имени В.В. Докучаева. – 2014.

56 Способ дифференцированного внесения минеральных удобрений при уборке зерновых культур : пат. RU 2477597 С2 Рос. Федерация : МПК ⁵¹ А01С 15/00 А01С 17/00 / Милюткин В.А., Канаев М.А., Котов Д.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия». № 2011119379/13; заявл. 13.05.11; опубл. 20.03.13, Бюл. № 8. 5 с.

57 Матвеев Д.А., Якушев В.В., Канаш Е.В., Петрушин А.Ф. Методические подходы к проведению дифференцированных азотных подкормок с использованием тестовых площадок // Агрохимический вестник. – 2017. –

№ 1. – С. 19–24.

58 Гольтяпин В.Я., Мишуоров Н.П., Федоренко В.Ф., Голубев И.Г., Балабанов В.И., Петухов Д.А. Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами: аналит. Обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 88 с.

59 Акинчин А.В., Левшаков Л.В., Линков С.А., Ким В.В., Горбунов В.В. Информационные технологии в системе точного земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 9. – С. 16–21.

60 Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка пространственно-временного распределения урожайности зерновых культур и стандартизированного индекса осадков по спутниковой и наземной информации // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2014. – № 571. – С. 147–161.

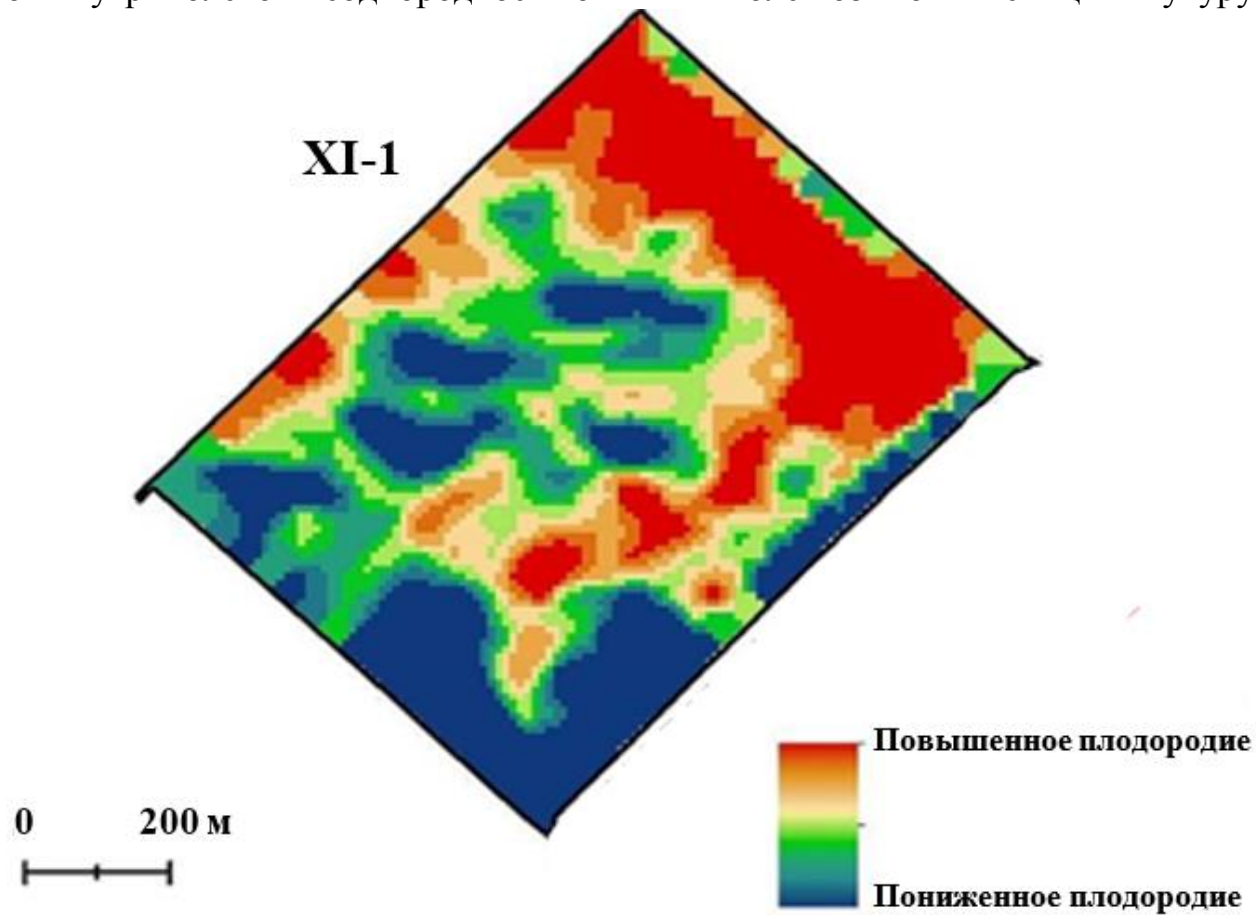
61 Афанасьев Р.А. Агрохимические проблемы дифференцированного применения удобрений // 3-я Научно-практическая конференция «Машинные технологии производства продукции в системе точного земледелия и животноводства» (16-18 июня 2008 г., Минск). – М.: Изд-во ВИМ, 2008. – С. 105.

62 Личман Г.И., Личман Г.И., Смирнов И.Г. Интеллектуальное земледелие как дальнейшее развитие идей точного земледелия // Нивы Зауралья. – 2015. – № 1 (123). – С. 21–24.

63 Малышевский В.А., Федулов Ю.П., Малышевский П.В., Подушин Ю.В., Мязина А.Н. В сборнике: Энтузиасты аграрной науки. Сборник статей по материалам Международной конференции. Ответственный за выпуск А.Х. Шеуджен. – 2018. – С. 7–14.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Карты устойчивой внутриполевой неоднородности опытных полей озимой пшеницы и кукурузы на зерно



74

Рисунок А.1 – Карта УВН опытного поля 11/1, 72 га (культура – озимая пшеница, предшественник – кукуруза на зерно)

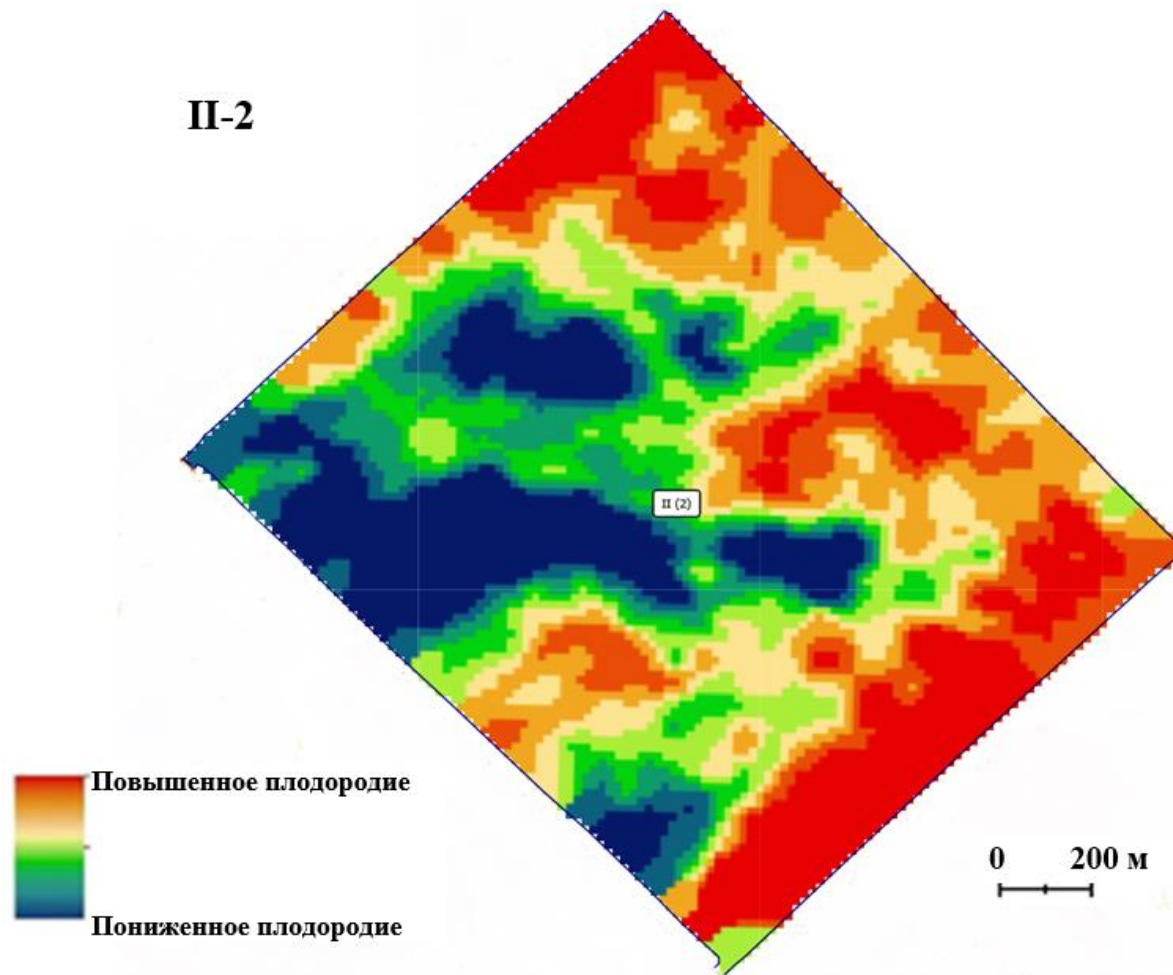


Рисунок А.2 – Карта УВН опытного поля 2/2, 80 га (культура – кукуруза на зерно, предшественник – озимая пшеница)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)

Карты-схемы закладки производственных опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений



Рисунок Б.1 – Карта-схема на 1 и 2 дифференцированные подкормки озимой пшеницы аммиачной селитрой согласно карты-задания, разработанной для поля 11/1

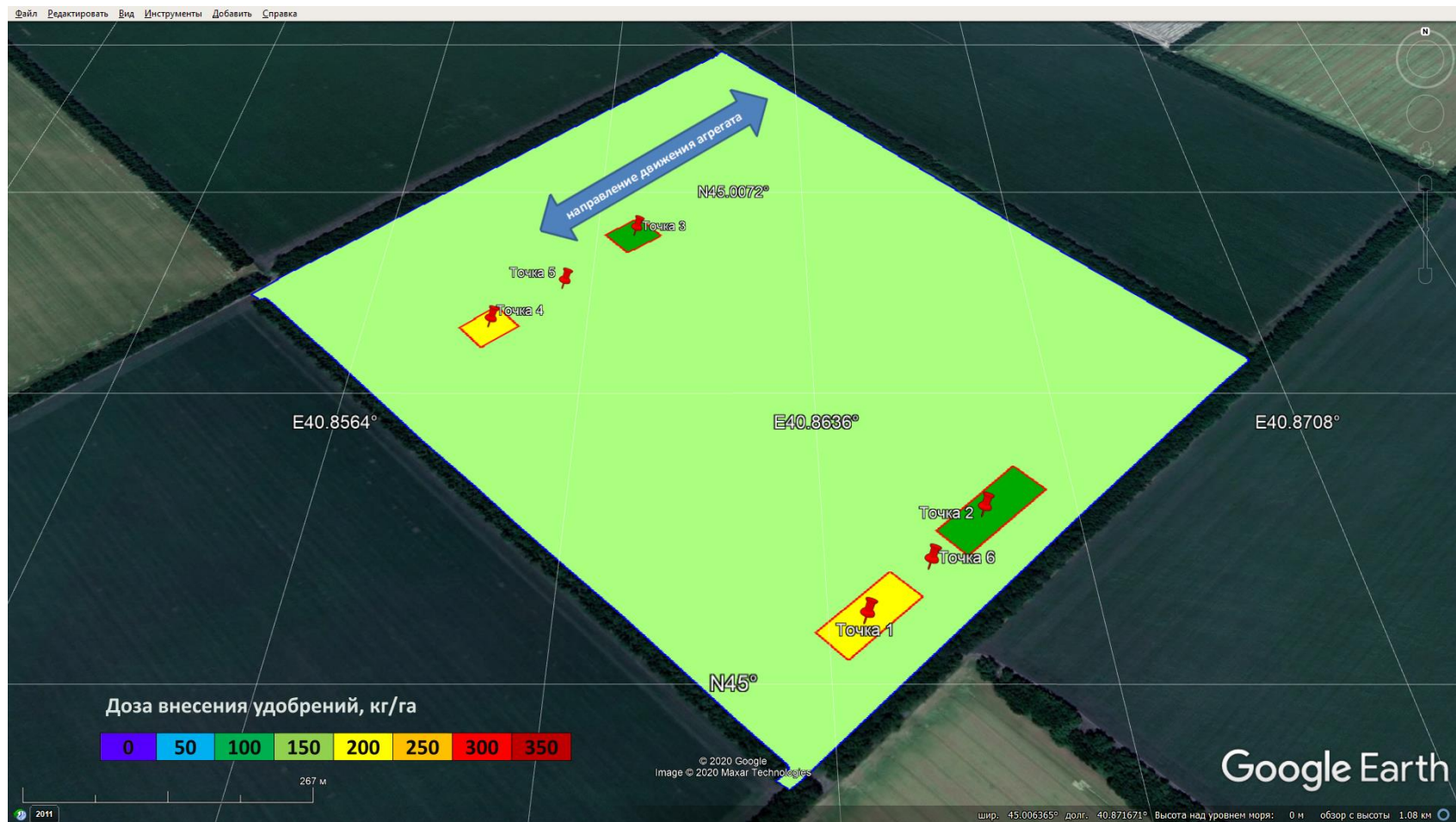


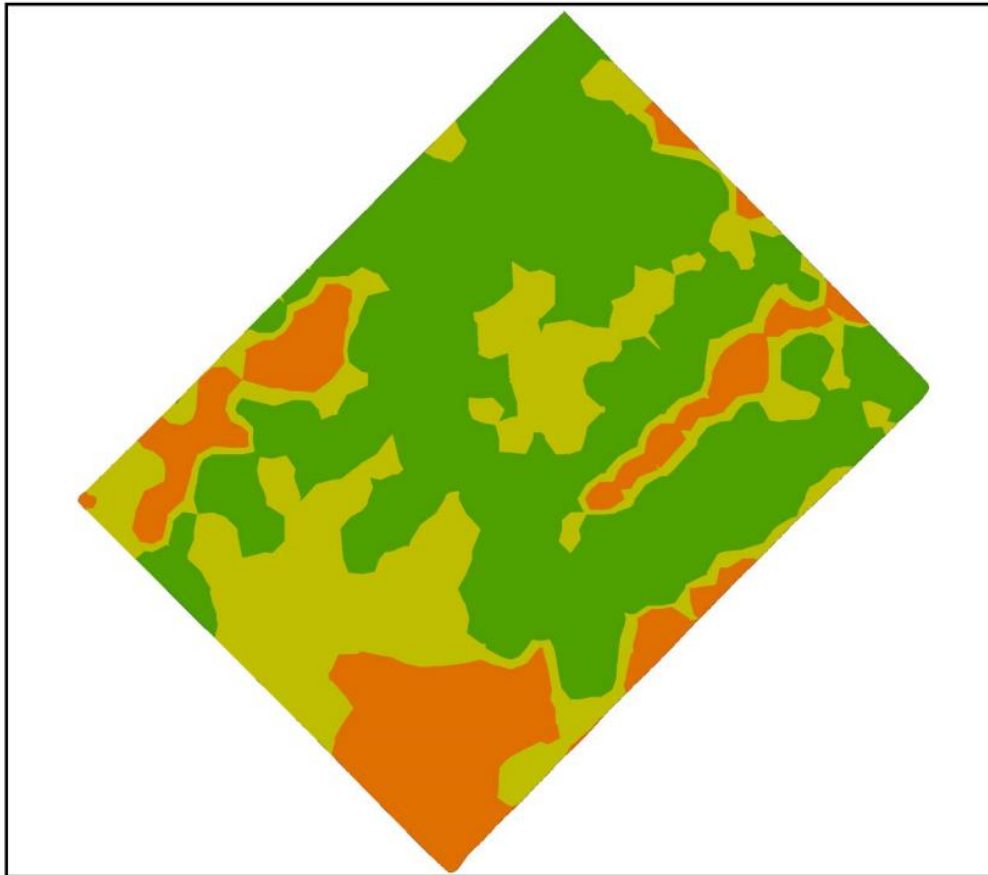
Рисунок Б.2 – Карта-схема дифференцированного основного внесения аммиачной селитры после посева кукурузы на зерно согласно карты-задания, разработанной для поля 2/2

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Карты урожайности опытных полей озимой пшеницы и кукурузы на зерно

XI(1) - 2020 Пшеница Wheat: Уборка
Влажный урожай

5,0 - 46,3 т/га	0,00 га	
4,1 - 4,9 т/га	38,68 га	
3,6 - 4,0 т/га	20,67 га	
2,0 - 3,5 т/га	12,18 га	
0,5 - 1,9 т/га	0,00 га	



Заказчик: KubNIINiM
Хозяйство: ValidPolygon
Поле: XI(1)
Культура: 2020 Пшеница Wheat
Имя: UBORKA WEAT 2020
Тип: Уборка
Площадь: 75,09 га
Дата начала: 30.06.2020 9:11
Дата окончания: 01.07.2020 18:44
Время затраты, ч: 18,1 ч.
Уборка: т
Среднее: т/га

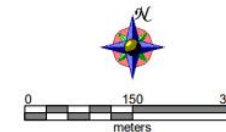


Рисунок В.1 – Карта урожайности озимой пшеницы на опытном поле 11/1

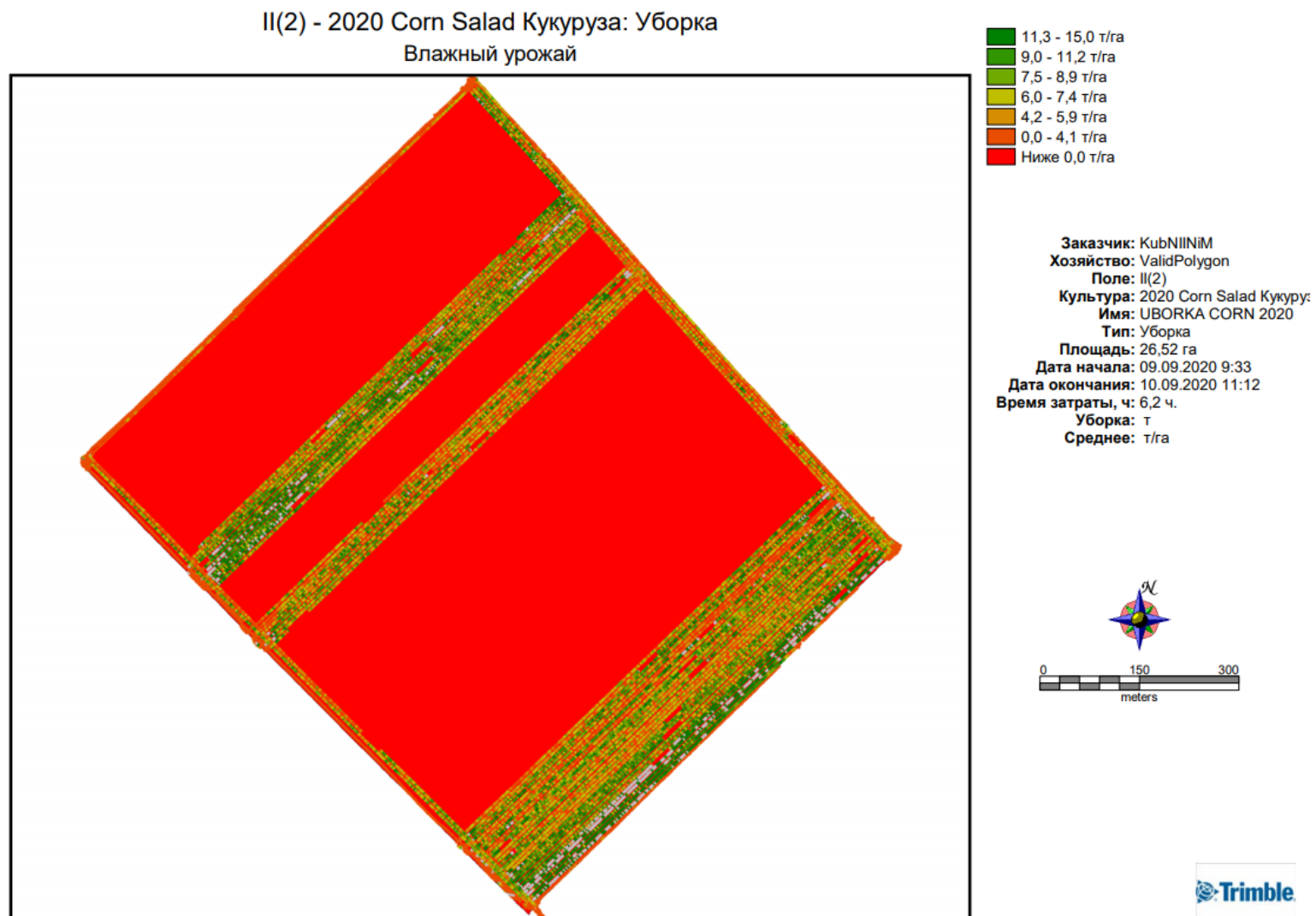


Рисунок В.2 – Карта урожайности кукурузы на зерно на опытном поле 2/2