

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 121071300040-3

УТВЕРЖДАЮ  
Врио директора  
ФГБНУ «Росинформагротех»,  
канд. юрид. наук  
П.А. Подъяблонский  
« 14 » 12 2021 г.



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследование экономической эффективности дифференцированного  
внесения удобрений и разработка метода создания карт-заданий  
на основе цифровых карт урожайности и карт биомассы растений,  
полученных с БПЛА

по теме:

2.1.10 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА  
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР  
(заключительный)

Директор КубНИИТиМ



М.И. Потапкин

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



Д.А. Петухов

Новокубанск 2021


## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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


 22.11.2021 Д.А. Петухов  
(методическое руководство,  
введение, разделы 1, 2, 3, 4,  
заключение)

Исполнители:

Зам. лабораторией эксплуатационно-  
мониторинговой оценки машин,  
науч. сотр.

 22.11.2021 С.А. Свиридова  
(раздел 4)

Науч. сотр.

 22.11.2021 А.Б. Иванов  
(раздел 2, приложения А,  
Б, В, Г, Д, Е)


Науч. сотр.

 22.11.2021 Е.В. Бондаренко  
(разделы 2, 3,  
приложения Ж, З)

Науч. сотр.

 22.11.2021 М.А. Белик  
(раздел 3)


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

 22.11.2021 Т.А. Юрина  
(раздел 3)

Науч. сотр.

 22.11.2021 О.Н. Негреба  
(раздел 3)

Агроном

 22.11.2021 И.А. Горчакова  
(раздел 3)

Экономист

 22.11.2021 Т.В. Юрченко  
(раздел 4)

Биомониторинг

 22.11.2021 В.О. Марченко

## РЕФЕРАТ

Отчет 79 с., 25 рис., 11 табл., 43 источн., 8 прил.

### КООРДИНАТНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ, КАРТИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ, БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ, ИНДЕКС ВЕГЕТАЦИИ, МЕТОДИКА, КАРТА-ЗАДАНИЕ, ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ, УРОЖАЙНОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Объектом исследований является технология возделывания озимой пшеницы с применением элементов координатного земледелия и электронных карт-заданий на дифференцированное внесение минеральных удобрений.

Цель работы – исследование экономической эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений и разработка метода создания карт-заданий на основе цифровых карт урожайности предшественника и карт биомассы растений, полученных с БПЛА.

Метод проведения работы – системный анализ научно-технической литературы по дифференцированному внесению удобрений, разработка карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений, экспериментальные исследования влияния доз удобрений на урожайность озимой пшеницы, фенологические наблюдения за ростом и развитием растений, картирование урожайности.

В результате исследований разработаны карты-задания на дифференцированное внесение минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы по зонам урожайности предшествующей культуры и зонам с различным уровнем нормализованного относительного индекса вегетации, созданы карта биомассы растений, а также электронные карты урожайности озимой пшеницы и предшественника – подсолнечника.

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

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

Результаты НИР внедрены в производственной технологии возделывания озимой пшеницы на полях валидационного полигона Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ).

Применение новой технологии с элементами координатного земледелия при возделывании озимой пшеницы вместо традиционной позволило получить дополнительную прибыль в размере 9 713 руб./га.

Экономическая эффективность получена за счет двух следующих факторов: прибавки урожайности озимой пшеницы и снижения затрат на закупку удобрений, которые обусловлены применением дифференцированного внесения оптимальных доз удобрений внутри поля по электронным картам-заданиям для разбрасывателя минеральных удобрений.

## СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	10
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 Анализ влияния дифференцированного внесения минеральных удобрений на экономическую эффективность производства сельскохозяйственных культур .....	15
2 Рабочая программа и методика проведения исследований.....	21
2.1 Методика закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на основе цифровых карт урожайности предшествующей культуры и карт биомассы растений при возделывании озимой пшеницы в условиях валидационного полигона.....	23
2.2 Схема закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы .....	26
3 Результаты экспериментальных исследований.....	32
3.1 Фенологические наблюдения за ростом и развитием озимой пшеницы на участках с различными относительными уровнями индекса вегетации растений .....	32
3.2 Сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы по вариантам опыта и результатам картирования.....	43
4 Экономическая оценка дифференцированного внесения минеральных удобрений с обоснованием наиболее эффективного варианта .....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	57

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Методика создания карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений на основе карт урожайности предшественника и карт индекса вегетации растений.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное) Карта урожайности предшествующей культуры .....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ В (справочное) Карта-схема закладки производственного опыта по дифференцированному внесению основной дозы минеральных удобрений под посев озимой пшеницы.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (справочное) Карта биомассы растений озимой пшеницы, полученная при помощи обработки данных с БПЛА .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное) Карта-схема закладки производственного опыта на дифференцированных подкормках озимой пшеницы .....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (справочное) Карта урожайности озимой пшеницы на опытном поле 6/3 .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (справочное) Традиционная технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ И (справочное) Новая технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы с элементами координатного земледелия .....	77

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

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

Аэрофотосъемка	– один из основных видов изыскательских работ, который позволяет при резком увеличении производительности полевых работ перенести основной объем работ по получению информации о местности в камеральные условия с использованием средств автоматизации и компьютерной техники
Беспилотный летательный аппарат	– летательный аппарат многоразового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа (человека-пилота) и способный самостоятельно целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором со стационарного или мобильного пульта управления)

Дифференцированное внесение	– процесс внесения в почву материалов (семян, удобрений, средств защиты растений) с переменной дозой, рассчитанной на основе анализа плодородия почв и/или состояния посевов
Карта-задание	– управляющий алгоритм, указывающий разбрасывателю, какую дозу минеральных удобрений необходимо дать на том или ином участке поля
Картирование урожайности	– технология точного земледелия, призванная определить неоднородность главного из показателей – урожайности
Квадрокоптер	– беспилотное воздушное судно с четырьмя несущими винтами, вращающимися попарно в противоположных друг другу направлениях
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 (плотности растительности), используемый для решения задач количественной оценки растительного покрова
Ортофотоплан	– растровое изображение местности в ортогональной проекции, заданной системе координат и высот
Спутниковый мониторинг посевов	– технология онлайн наблюдения за изменениями индекса вегетации, полученных с помощью спектрального анализа спутниковых снимков высокого разрешения, на отдельных полях или для отдельных с.-х. культур, которая позволяет отслеживать динамику развития растений
Фенологические наблюдения	– наблюдения за сезонными явлениями и процессами в жизни растений и предсказание сроков их наступления
Цифровая экономика	– экономическая деятельность, основанная на цифровых технологиях, связанная с электронным бизнесом и электронной коммерцией, и производимых и сбываемых ими цифровыми товарами и услугами



Цифровое сельское хозяйство	– сельское хозяйство, базирующееся на современных способах производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия с использованием цифровых технологий (интернет вещей, робототехника, искусственный интеллект, анализ больших данных, электронная коммерция и др.), обеспечивающих рост производительности труда и снижение затрат производства
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

ВИ – вегетационный индекс

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ДДЗ – данные дистанционного зондирования

НИР – научно-исследовательская работа

ПЗП – почвенно-земельный покров

с.-х. – сельскохозяйственные

УВН – устойчивая внутрислоевая 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

Приоритетным направлением Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству с разработкой и внедрением систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений [1].

Существующие на сегодняшний день современные методы ведения сельского хозяйства в сочетании с ресурсосберегающими технологиями, в т.ч. координатного земледелия, предусматривают использование новых образцов с.-х. машин и оборудования, оснащенных системами параллельного вождения агрегатов, системами для дифференцированного внесения материалов, датчиками картирования урожайности и др. систем и элементов, в т.ч. применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» предусматривает цифровую трансформацию сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК и достижения роста производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2024 г. [2].

Кроме того, перспективным направлением развития сельского хозяйства является реализация программы «Цифровая экономика Российской Федерации», ключевой задачей которой является внедрение цифровых инструментов (координатное земледелие) для использования информационных ресурсов, платформ и технологий, повышающих эффективность с.-х. производства [3].

При применении традиционной технологии и при обоснованном расчете точных доз внесения минеральных удобрений, происходит либо недостаточное внесение удобрений на одних участках поля, либо их перерасход на других, что в конечном итоге приводит к снижению экономической эффективности производства озимой пшеницы [4], [5].

Как правило это происходит из-за того, что растения озимой пшеницы потребляют из почвы не только вещества при внесении минеральных удобрений, но и вещества, накопившиеся в почве.

Известно, что неоднородность плодородия почвы в пределах одного поля может быть различной в зависимости от рельефа, почвенного покрова (даже выровненное поле почти всегда имеет неравномерную глубину пахотного горизонта на различных участках), агрохимических и агрофизических показателей, обусловленных как естественными причинами, так и за счет используемых технологий обработки почвы. Выравнивать естественную неоднородность плодородия почвы, обычно пытаются за счет равномерного внесения минеральных удобрений по всей площади поля, что при неоднородном составе питательных веществ в почве приводит к их локальной передозировке или недостаточности [6].

Следовательно, при внесении по всему полю одинаковой дозы минеральных удобрений, невозможно донести для всех растений оптимальное питание в соответствии с их потребностями. Таким образом, для оптимальной эффективности использования минеральных удобрений, их следует вносить дифференцированно, по цифровым картам-заданиям с учетом накопленных в почве питательных веществ и др. различных параметров [7].

С учетом, что в современных условиях хозяйствования применение системы картирования позволяет определять урожайность (предшествующей культуры) в реальном времени, создавать карты урожайности и определять её изменения по локальным участкам полей, а также и того, что беспилотные летательные аппараты позволяют получать информацию по каждому элементарному участку поля в виде электронных карт индекса вегетации, разработка нового метода создания карт-заданий на основное внесение минеральных удобрений и подкормки растений с.-х. культур, на основе цифровых карт урожайности предшественника и карт биомассы растений, полученных с БПЛА актуальна [8], [9].

Цель НИР – исследование экономической эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений и разработка метода создания карт-заданий на основе цифровых карт урожайности предшественника и карт биомассы растений, полученных с БПЛА.

Задачи, которые необходимо решить для достижения цели работы:

- разработать и апробировать новый метод составления карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений на основе цифровых карт урожайности предшественника и индекса вегетации растений;

- провести картирование урожайности предшествующей культуры опытного поля;

- по полученной карте урожайности предшественника разработать карту-задание на дифференцированное основное внесение минеральных удобрений (калий и аммофос) под посев озимой пшеницы;

- заложить полевой опыт по дифференцированному внесению минеральных удобрений разными дозами в зонах с различными уровнями урожайности предшествующей культуры;

- провести фенологические наблюдения за растениями озимой пшеницы после перезимовки;

- провести аэрофотосъемку опытного поля с БПЛА и создать электронную карту NDVI биомассы растений озимой пшеницы;

- разработать карту-задание на дифференцированные подкормки озимой пшеницы с учетом индекса вегетации растений по локальным участкам поля;

- внести две дифференцированные подкормки озимой пшеницы аммиачной селитрой, заложить опытные площадки и провести дальнейшие фенологические наблюдения за растениями озимой пшеницы по фазам развития;

- провести спутниковый мониторинг нормализованного относительного индекса вегетации посевов;

- провести уборку опытного поля с составлением карты-урожайности озимой пшеницы;

- рассчитать экономические показатели дифференцированного внесения минеральных удобрений в сравнении с традиционным внесением и обосновать наиболее эффективный вариант для производства озимой пшеницы.

Данная работа заключается в проведении экспериментального исследования и анализа результатов закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на поле озимой пшеницы 6/3 валидационного полигона КубНИИТиМ.

Исходные данные для проведения НИР – научно-техническая литература, научные статьи, электронная карта урожайности предшествующей культуры – подсолнечника, карты-задания для закладки производственного опыта по дифференцированному внесению минеральных удобрений, электронная карта биомассы растений озимой пшеницы, результаты картирования урожайности озимой пшеницы и закладки полевого опыта, полученные специалистами КубНИИТиМ в 2020-2021 гг.

В выполнении исследований принял участие зав. кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар), д-р техн. наук, профессор Труфляк Е.В.

Выполнение данной НИР будет содействовать применению электронных карт урожайности предшественника и карт биомассы растений для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение минеральных удобрений во исполнение Стратегии и ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство».

## **1 Анализ влияния дифференцированного внесения минеральных удобрений на экономическую эффективность производства сельскохозяйственных культур**

В настоящее время применение технологий координатного земледелия позволяет обеспечить экономию ресурсов на 20 %-30 %, а также повысить эффективность и экологические показатели использования земельных ресурсов [10].

Установлено, что одним из наиболее сложных и важных компонентов цифрового координатного земледелия из числа исследованных [11]–[13], является технология дифференцированного внесения удобрений, эффективность которой зависит от точности затрат на исходные данные, алгоритмов внесения удобрений и аппликации [14].

Применяемый в сельскохозяйственных предприятиях традиционный подход к проектированию системы удобрения не позволяет эффективно использовать имеющиеся экономические и природные ресурсы, получать потенциально возможную урожайность сельхозкультур, сохранять плодородие почв, а также оказывает негативное влияние на окружающую среду, т.к. не учитывает пространственной неоднородности почвенных, агрофизических, агрохимических, агрометеорологических и др. факторов в пределах одного поля, тем самым не позволяя реализовать дифференциацию агротехнологий [15].

В АФ «Намус», Муслюмовский район на полях с озимой пшеницей был заложен производственный опыт по дифференцированному внесению азотных удобрений в сравнении со сплошным их внесением одинаковой дозой. Итоги уборки показали, что наибольшая урожайность – 39,1 ц/га получена в варианте опыта с дифференцированным внесением удобрений, что на 1,8 ц/га выше, чем при сплошном внесении, при этом общий экономический эффект от применения элементов точного земледелия составил – 1390 руб./га [16].

Высокую эффективность от удобрений можно достичь путем применения их в определенной научно обоснованной системе с учетом конкретных почвенно-климатических условий, особенностей питания отдельных культур, агротехники и др. По существу, система удобрения является неотъемлемой частью реализуемой в хозяйствах системы земледелия [17].

Проводимые в России исследования по точному земледелию в различных почвенно-климатических условиях в рамках научных программ Россельхозакадемии, показали высокую эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений под зерновые культуры: повышается окупаемость азотных удобрений в 1,5-1,8 раза, снижаются нормы внесения удобрений [18], [19].

Выявлено, что одними из преимуществ технологии дифференцированного внесения удобрений являются повышение экономической эффективности использования минеральных удобрений и снижение риска загрязнения окружающей среды избыточным количеством средств химизации [20], [21].

Дифференцированное внесение азотных удобрений существенно сокращает количество вносимых в почву азотных удобрений до 30 %, стоимость которых составляет одну из основных статей затрат при производстве сельскохозяйственной продукции. Кроме того, дифференцированное внесение снижает риск низких урожаев от наблюдаемых в годы исследований колебаний погодных условий, обеспечивая стабильность функционирования сельскохозяйственного производства [22].

Результаты исследований проведенные ФГУ ЦАС «Татарский» в ООО «Бирюли» Высокогорского района показали, что затраты на систему для дифференцированного внесения удобрений окупаются в течение 1 года [23].

Следует отметить, 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.



По результатам полевого опыта с элементами точного земледелия в Нечерноземной зоне России установлено, что при возделывании ячменя эффективно как одноразовое, так и дробное внесение азота, однако его дополнительное внесение в подкормку по эффективности в 2-3 раза уступало эквивалентной дозе, внесенной до посева [24].

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 [25].

В настоящее время в хозяйствах при внесении минеральных удобрений 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 [26]. 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 [27]. Установлено, что рациональное расходование рабочего времени и ресурсов с применением системы GPS позволяет получить экономический эффект в размере от 400 до 1200 руб./га [28].

Как правило, при дифференцированном внесении минеральных удобрений применяют два способа: оффлайн и онлайн.

При внесении фосфорных удобрений в режиме оффлайн выявлено, что применение данного дифференцированного способа при возделывании сельскохозяйственных культур позволяет оптимально использовать дорогостоящие минеральные удобрения по сравнению с традиционным способом внесения и экономит до 500 руб./га [29].

По результатам проведенных исследований Новокубанским филиалом ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ) с 2018 по 2020 гг. установлено, что дифференцированное внесение и перераспределение доз удобрений по зонам плодородия в режиме оффлайн в сравнении с традиционным внесением одной дозой позволяет при возделывании озимой пшеницы получать дополнительный доход от 2400 до 14400 руб./га в зависимости от размеров и пропорций зон неоднородности почвенного покрова в пределах конкретного поля [30]–[32].

Выявлено, что экономическую эффективность производства озимой пшеницы от дифференцированного внесения удобрений в перспективе возможно оценивать при помощи технологий дистанционного зондирования Земли и специализированного сервиса. Экспериментальным путем установлено, что при спрогнозированном валовом сборе зерна озимой пшеницы с полей КубНИИТиМ – 6969 т и цене реализации – 10 руб./кг, оценочный расчет выручки на 2021 г. составит порядка 69,7 млн. руб. [33].

Внесение удобрений в режиме онлайн на опытных полях Агрофизического НИИ (г. Санкт-Петербург), позволило добиться 25 % экономии удобрений при одновременном увеличении урожайности на 15 %, по сравнению с традиционной технологией внесения удобрений [34].

Апробация методики дифференцированного внесения минеральных удобрений на посевах озимой пшеницы в учебном хозяйстве Самарской ГСХА показала, что внесение удобрений в режиме «on-line» требует затрат на специализированное оборудование порядка 2,2 млн. руб., которые окупа-

лись за 2,5 года [35].

В ФГБОУ ВПО «КубГАУ им. И.Т. Трубилина» на полях учхоза «Краснодарское» был проведен сравнительный эксперимент по анализу дифференцированного внесения азотных удобрений под озимую пшеницу с использованием оптических сенсоров «GreenSeeker» и карт-заданий на основе космоснимков в режимах онлайн и оффлайн соответственно. Экономический эффект от дифференцированного внесения в режиме онлайн составил порядка 4000 руб./га [36]. По результатам опытов в 2020 г. установлено, что эффект от экономии удобрений при их дифференцированном внесении – 9025 руб. [37]. Общий эффект от внедрения технологий точного земледелия на площади 11221,6 га составил 40,69 млн. руб., при средней доходности – 3514 руб./га [38].

При дифференцированном внесении азотных удобрений применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет проводить не только оцифровку и обследование земель сельскохозяйственного назначения, но и получать данные дистанционного зондирования Земли для разработки карт-заданий [39], [40].

Опыты на полях хозяйства ЗАО «Откормочное» (Тульская область) показали, что применение БПЛА для создания карт вегетационного индекса и разработки карт-заданий на внесение азотных удобрений, совместно с дифференцированными подкормками позволили собрать дополнительный урожай озимой пшеницы в количестве 3,45 ц/га. Установлено, что при стоимости удобрений в 13,9 тыс. руб./т и цене реализации зерна 10 тыс. руб./т суммарная дополнительная прибыль в сравнении с традиционным внесением азотных удобрений в хозяйстве, составила 4 978 руб./га [41].

Технологии координатного земледелия повышают продуктивность с.-х. культур, качество выполнения технологического процесса и обеспечивают экономию удобрений: так при возделывании яровой пшеницы использование технологий дистанционного зондирования совместно с технологией дифференцированного внесения удобрений показало увеличение урожайности на

29 % и экономию удобрений на 26 % [42].

Таким образом, дифференцированное внесение минеральных удобрений является одним из важнейших экономических аспектов координатного земледелия, при этом на экономическую эффективность технологий точного земледелия оказывают непосредственное влияние следующие факторы: неоднородность полей по плодородию почв, размеры площадей с дифференцированным внесением, ассортимент и наличие сельскохозяйственной техники и техники для точного земледелия в хозяйствах, цены на специализированные онлайн-сервисы и др. услуги.

## 2 Рабочая программа и методика проведения исследований

Рабочей программой исследований было предусмотрено выполнение следующих основных этапов работ:

- оборудование зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 системой картирования урожайности с.-х. культур Yield Monitoring;
- картирование предшествующей культуры опытного 6/3 поля под посев озимой пшеницы в 2020 г. и построение электронной карты урожайности подсолнечника с использованием специализированного программного обеспечения Trimble AG;
- разработка и апробация нового метода составления карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений на основе цифровых карт урожайности предшественника и индекса вегетации растений;
- построение карты-задания в формате KML на дифференцированное основное внесение минеральных удобрений под посев озимой пшеницы на основе зон урожайности предшественника;
- оборудование сельскохозяйственного агрегата Беларусь 1025.2+Vogballe M2 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 полевого опыта по дифференцированному внесению минеральных удобрений (калий хлористый и аммофос) разными дозами в зонах с различными уровнями урожайности предшествующей культуры под посев озимой пшеницы;
- проведение фенологических наблюдений за ростом и развитием растений озимой пшеницы для сравнительного анализа показателей (число растений, высота и др.);
- аэрофотосъемка опытного поля с БПЛА в 2021 г. и создание электронной карты NDVI биомассы растений озимой пшеницы;
- разработка карты-задания в формате KML на дифференцированные

подкормки озимой пшеницы с учетом индекса вегетации растений по локальным участкам поля;

- проведение дифференцированных подкормок озимой пшеницы аммиачной селитрой агрегатом Беларус 1025.2+Vogballe M2, закладка опытных площадок и дальнейшие наблюдения за растениями озимой пшеницы по фазам развития;

- спутниковый мониторинг нормализованного относительного индекса вегетации посевов в специализированном программном обеспечении для точного земледелия «OneSoil»;

- уборка опытного поля зерноуборочным комбайном Полесье GS-12 и составление электронной карты урожайности озимой пшеницы;

- сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы по вариантам опыта и результатам картирования;

- расчёт экономических показателей дифференцированного внесения минеральных удобрений в сравнении с традиционным внесением и обоснование наиболее эффективного варианта при производстве озимой пшеницы.

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

- методику создания карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений на основе карт урожайности предшественника и карт индекса вегетации растений (приложение А);

- методику закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на основе цифровых карт урожайности предшествующей культуры и карт биомассы растений при возделывании озимой пшеницы в условиях валидационного полигона;

- методику фенологических наблюдений за ростом и развитием растений, 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.

## **2.1 Методика закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений на основе цифровых карт урожайности предшествующей культуры и карт биомассы растений при возделывании озимой пшеницы в условиях валидационного полигона**

Для закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы было выделено поле 6/3 (40,78 га) валидационного полигона Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТиМ).

Производственный опыт включал следующие технологические операции по возделыванию и уборке озимой пшеницы по предшественнику подсолнечник, согласно технологической карте валидационного полигона:

- уборку предшественника – подсолнечника зерноуборочным комбайном Полесье GS-12 (рисунок 1);



Рисунок 1 – Зерноуборочный комбайн Полесье GS-12, оборудованный системой картирования урожайности Trimble YM на уборке подсолнечника

- двукратное дискование агрегатом К-744Р1+БДТМ 6×3 на глубину до 10 см;

- внесение основного удобрения под посев озимой пшеницы на опытном поле 18.09.2020 г. (калий хлористый) и 25.09.2020 г. (аммофос) сельскохозяйственным агрегатом Беларусь 1025.2+Vogballe M2 (рисунок 2);



Рисунок 2 – Дифференцированное внесение основной дозы минеральных удобрений под посев озимой пшеницы агрегатом Беларус 1025.2+Vogballe M2

- дискование с заделкой минеральных удобрений агрегатом К-744Р1+БДТМ 6×3 на глубину до 12 см;

- предпосевную подготовку почвы на глубину до 6 см агрегатом К-744Р1+КДК-9 при влажности почвы в слое от 0 до 10 см – 18,2 %;

- семенной материал для посева был выбран из сортов, рекомендованных для возделывания в Центральной зоне Краснодарского края – Гром РС-2 (рисунок 3): чистота семян – 98,8 %, всхожесть семян – 98 %, масса 1000 семян – 40,3 г, посевная годность – 98,2; сорт «Гром» включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 2010 г., защищен патентом Российской Федерации. Общая характеристика: сорт полукарликовый, устойчив к полеганию и осыпанию, среднеспелый. Урожайность в среднем за годы испытаний сорта «Гром» составила 8,25 т/га. Устойчив к болезням и климатическим условиям. Имеет полевую устойчивость к желтой ржавчине. Морозостойкость выше средней, засухоустойчивость высокая. Допущен для возделывания в Северо-Кавказском регионе. Рекомендуется размещать по большинству предшественников, за исключением колосовых и кукурузы;



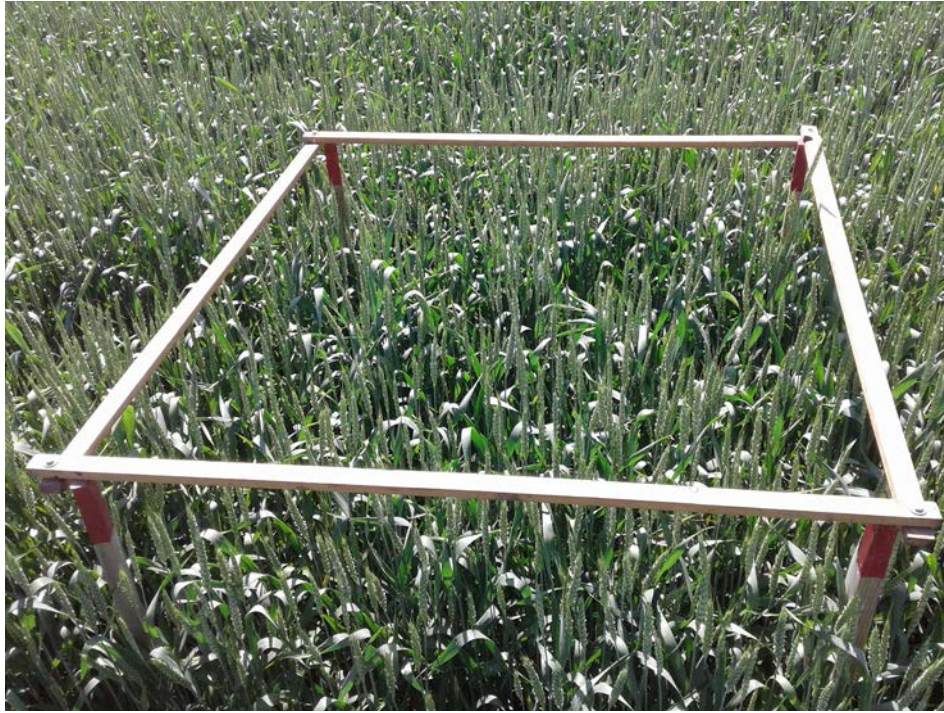


Рисунок 3 – Растения озимой пшеницы сорта Гром РС-2

- обработку семян перед посевом выполнили фунгицидным протравителем «Максим Форте, КС» (1,75 л/т);
- посев озимой пшеницы проводили 4 октября 2020 г. зерновой сеялкой John Deere 455 в агрегате с трактором John Deere 8420; фактическая норма высева семян Гром РС-2 составила – 220 кг/га, или 5,0 млн. шт./га с одновременным внесением аммофоса в засеваемые рядки – 50 кг/га. После посева было проведено прикатывание агрегатом МТЗ-82+КЗК-6;
- после полных всходов озимой пшеницы перед уходом в зиму (с 09.11 по 27.11.2020 г.) была проведена борьба с мышевидными грызунами, препаратом «Изоцин», обработка проводилась путем раскладывания приманок в норки;
- первую 10.03.2021 г. и вторую 02.04.2021 г. подкормки растений аммиачной селитрой провели агрегатом Беларус-1025.2+Vogballe M2, оборудованным системой «Агронавигатор-Асур-Дозатор» (рисунок 4);
- после внесения удобрений были проведены технологические операции по борьбе с сорняками, болезнями и вредителями растений озимой пшеницы агрегатом МТЗ-82+Гварта-5 в соответствии с технологической картой валидационного полигона;



Рисунок 4 – Общий вид разбрасывателя минеральных удобрений Bogballe M2 в агрегате с трактором Беларус 1025.2 на подкормке озимой пшеницы

- уборку опытного поля провели зерноуборочным комбайном Полесье GS-12, оборудованным системой картирования урожайности Trimble YM (рисунок 5).

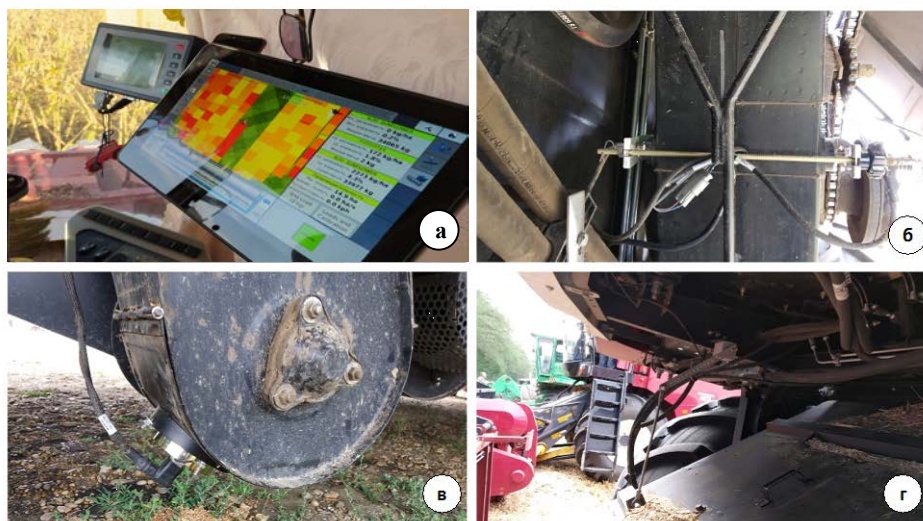


Рисунок 5 – Общий вид зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 на уборке опытного поля озимой пшеницы

## **2.2 Схема закладки полевых опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы**

На опытном поле 6/3 закладку опытов по дифференцированному внесению минеральных удобрений начали в 2020 г. Для этого был дооборудован

самоходный зерноуборочный комбайн Полесье GS-12 системой картирования урожайности Trimble Yield Monitoring (рисунок 6).



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

Рисунок 6 – Элементы 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 убранный зерна и средняя влажность зерна) повторно измерялись на приемном пункте.

При помощи картирования и обработки результатов в программе Trimble AG была получена электронная карта урожайности предшествующей культуры – подсолнечника (приложение Б).

На основе полученной карты урожайности подсолнечника, при помощи разработанной методики с целью её апробации (приложение А) была создана в формате KML электронная карта-задание на дифференцированное внесение основных доз минеральных удобрений под посев озимой пшеницы с учетом зон урожайности предшественника (приложение В).

Эксперимент предусматривал основное внесение аммофоса и калия хлористого с дозами по 100, 150 и 185 кг/га в зонах с низкой и высокой урожайно-

стью подсолнечника, а в зоне со средней урожайностью с хозяйственной (базовой) дозой – по 150 кг/га каждого вида минеральных удобрений (таблица 1).

Таблица 1 – Дозы минеральных удобрений для дифференцированного внесения по зонам урожайности

№	Зона урожайности подсолнечника	Основное удобрение перед посевом, кг/га		Аммофос при посеве, кг/га	Общая доза внесенных удобрений, кг/га
		аммофос	калий хлористый		
1	низкая	185	185	50	420
2	низкая	100	100	50	250
3	высокая	185	185	50	420
4	высокая	100	100	50	250
5	низкая	150	150	50	350
6	высокая	150	150	50	350
7	средняя	150	150	50	350
8	средняя	150	150	50	350
9	низкая	185	185	50	420
10	средняя	150	150	50	350

Данная схема опыта была заложена для оценки влияния увеличенных и сниженных доз минеральных удобрений на отзывчивость растений озимой пшеницы, при их дифференцированном внесении в зонах с различным уровнем урожайности предшествующей культуры.

Первую подкормку озимой пшеницы из-за сложившихся погодных условий провели 10 марта по снежному покрову с хозяйственной дозой внесения аммиачной селитры – 150 кг/га по всему полю, т.к. не представилось возможным провести аэрофотосъемку опытного поля с беспилотного летательного аппарата и получить снимки нормализованного относительного индекса вегетации для создания электронной карты биомассы растений.

Перед второй подкормкой озимой пшеницы 26.03.2021 г. провели аэрофотосъемку опытного поля с помощью мультиспектральной камеры и квадрокоптера DJI Phantom 4 RTK компании ООО «ЛЕТАЙ И СМОТРИ АГРО», г. Краснодар (рисунки 7, 8) и получили снимки нормализованного относительного индекса вегетации.

После обработки полученных снимков поля с квадрокоптера была создана электронная карта индекса вегетации NDVI (приложение Г).



Рисунок 7 – Запуск квадрокоптера DJI Phantom 4 RTK

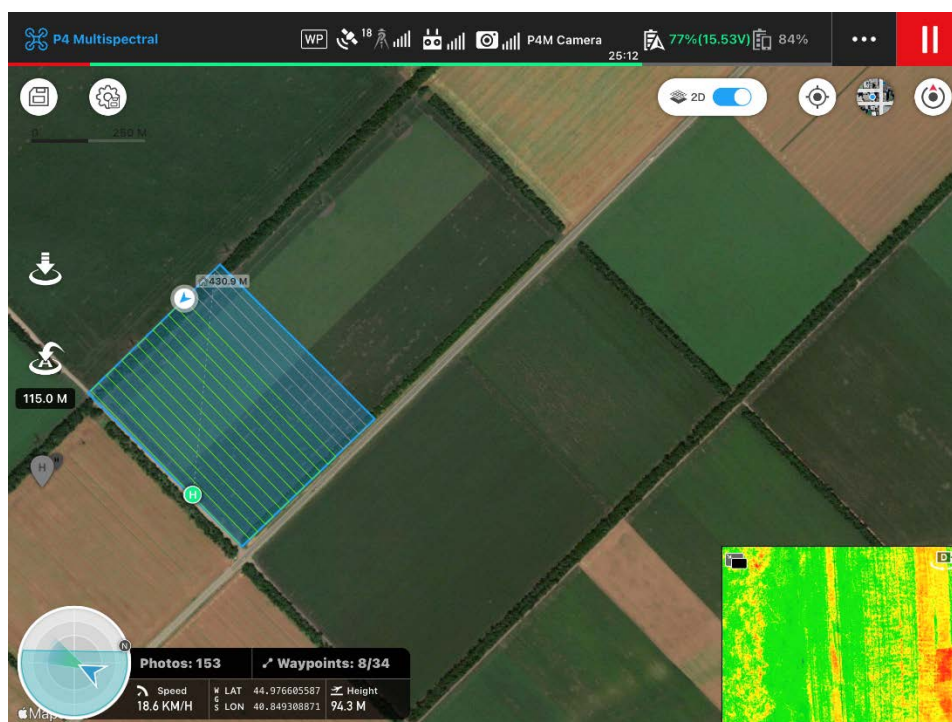


Рисунок 8 – Карта-задание полета и съемки поля мультиспектральной камерой

По полученной карте биомассы растений были выделены зоны вегетации, по которым разработали карту-задание на дифференцированное внесение аммиачной селитры (приложение Д).

Карта-задание предусматривала эксперимент по внесению аммиачной селитры в зонах с низким индексом вегетации дозами 100 и 200 кг/га, со средним индексом вегетации хозяйственной дозой – 150 кг/га, а в зонах с высоким индексом вегетации также дозами 100 и 200 кг/га (таблица 2).

Таблица 2 – Дозы минеральных удобрений для дифференцированных подкормок озимой пшеницы по зонам индекса вегетации NDVI

№	Индекс вегетации растений по зонам	Подкормка аммиачной селитрой, кг/га		Общая доза внесенных удобрений в 2020 г., кг/га	Суммарная доза внесенных удобрений на опытном поле, кг/га
		первая	вторая		
1	высокий	150	100	420	670
2	средний	150	150	250	550
3	низкий	150	100	420	670
4	средний	150	150	250	550
5	низкий	150	100	350	600
6	низкий	150	200	350	700
7	низкий	150	100	350	600
8	средний	150	150	350	650
9	высокий	150	200	420	770
10	высокий	150	100	350	600

Из представленной таблицы 2 видно, что в зоне с низкой урожайностью предшественника высокий индекс вегетации растений озимой пшеницы получен при общей дозе удобрений – 420 кг/га. Уменьшение общей дозы в данных зонах приводит к худшему развитию растений, индекс вегетации снижается до средних и низких значений.

В зонах со средним значением урожайности индекс вегетации растений независимо от идентичной общей дозы в 350 кг/га варьировался от низких, до средних и высоких значений. Т.к. данная зона по урожайности предшественника занимает большую часть поля (приложение Б), то, по-видимому, на развитие растений оказывает влияние множество других факторов таких как: внутриполевая неоднородность почвенно-земельного покрова, неравномерное распределение элементов питания в почве, уплотнение и твердость почвы, уклоны, водные потоки и др.

При общей дозе удобрений – 250 кг/га в зонах с высокой урожайностью предшественника отмечен средний индекс вегетации растений, с увеличением общей дозы удобрений до 420 кг/га происходит замедление развития растений и индекс вегетации имеет более низкий уровень.

Таким образом, для дифференцированного основного внесения удобрений под посев озимой пшеницы рекомендуются следующие общие дозы минеральных удобрений по зонам урожайности предшествующей культуры:

- в зонах в низкой урожайностью – 420 кг/га;
- в зонах со средней урожайностью – 350 кг/га;
- в зонах с высокой урожайностью – 250 кг/га.

Приведенная в таблице 2 суммарная доза гранулированных минеральных удобрений на опытном поле предназначена для проведения дальнейшего анализа и включает в себя: дозы при основном внесении (аммофос и калий хлористый), дозу аммофоса при посеве, а также дозы аммиачной селитры на двух поверхностных подкормках озимой пшеницы.

### 3 Результаты экспериментальных исследований

В производственном опыте для проведения фенологических наблюдений за ростом и развитием растений озимой пшеницы вплоть до уборки урожая, на поле 6/3 были заложены в трехкратной повторности контрольные площадки площадью 1 м<sup>2</sup> каждая (рисунок 9).



Рисунок 9 – Общий вид контрольной площадки для проведения фенологических наблюдений за растениями озимой пшеницы

Для проведения сравнительного анализа на поле по зонам урожайности предшественника (высокой, средней и низкой) было заложено – 30 площадок, которые были отмечены на электронной карте десятью точками (приложение Д) с соответствующими координатами с целью их оперативного нахождения в поле при помощи мобильных приложений «ArcGIS Earth» и «Google Планета Земля».

#### **3.1 Фенологические наблюдения за ростом и развитием озимой пшеницы на участках с различными относительными уровнями индекса вегетации растений**

Первый контроль за всходами растений озимой пшеницы был осуществлен 13.11.2020 г. (рисунок 10).





Рисунок 10 – Демонстрация выкопки растений озимой пшеницы для непосредственного измерения параметров

В результате измерений установлено, что по всем вариантам опытов были получены хорошие и дружные всходы озимой пшеницы. Основные показатели при обследовании посевов опытного поля: средняя всхожесть растений составила 246,8 шт./м<sup>2</sup>, средняя длина наземной части – 4,7 см, длина корня – 6,4 см, глубина узла кущения – 4,4 см, среднее число листьев – 1,5 шт. на одном растении.

Оптимальной фазой для озимой пшеницы перед уходом в зимовку, как правило, считается шильце или фаза кущения. В зиму растения озимой пшеницы во всех вариантах опытов ушли с развитой корневой системой и хорошо раскустившимися.

Весной, после схода снежного покрова 01.04.2021 г. произвели осмотр опытного поля озимой пшеницы и определили следующие основные параметры растений: высоту растений, длину корневой системы, коэффициент кущения по всем вариантам опыта. Параметры растений озимой пшеницы замеряли в каждой опытной точке (таблица 3).

Общая доза внесенных удобрений после основного внесения, с посевом и после первой подкормки приведена для оценки их влияния на рост и развитие растений озимой пшеницы по зонам урожайности предшественника.

Таблица 3 – Усредненные параметры растений озимой пшеницы по опытным точкам

№ точки	Зона урожайности предшественника	Длина корневой системы, см	Средняя высота растения, см	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Коэффициент кущения	Общая доза внесенных удобрений, кг/га
1	низкая	10,3	11,6	244	2,7	570
2	низкая	13,1	11,3	270	3,5	400
3	высокая	11,3	12,0	252	2,5	570
4	высокая	11,9	10,8	324	4,0	400
5	низкая	11,4	11,0	258	2,7	500
6	высокая	10,9	10,9	342	3,5	500
7	средняя	11,7	11,5	318	3,4	500
8	средняя	11,4	11,5	324	3,5	500
9	низкая	11,6	12,2	312	3,2	570
10	средняя	10,3	11,7	306	2,6	500

Из таблицы 3 видно, что у растений озимой пшеницы в зоне с низкой урожайностью корневая система развивается лучше при общей дозе внесения удобрений – 400 кг/га в точке 2, в которой длина корневой системы составила – 13,1 см. С увеличением дозы удобрений до 570 кг/га происходит замедление роста корневой системы на 2,8 см. У растений озимой пшеницы в зоне со средней урожайностью (точки 7, 8, 10) выявлено, что длина корневой системы при одинаковой общей дозе внесения удобрений – 500 кг/га варьируется от 10,3 до 11,7 см.

В зоне с высокой урожайностью корневая система развивается лучше при общей дозе внесения удобрений – 400 кг/га, в точке 4 в которой длина корневой системы составила – 11,9 см. С увеличением дозы удобрений до 500 кг/га происходит замедление роста корневой системы на 1,0 см, а при дальнейшем увеличении дозы минеральных удобрений до 570 кг/га происходит рост корневой системы до 11,3 см.

Высота растений озимой пшеницы в зоне с низкой урожайностью наибольшая в точке 9 – 12,2 см, при общей дозе внесения удобрений – 570 кг/га. С уменьшением дозы удобрений до 400 кг/га (точка 2) происходит замедление роста на 0,9 см. У растений озимой пшеницы в зоне со средней

урожаем высотой варьируется при одинаковой общей дозе внесения удобрений – 500 кг/га от 11,5 до 11,7 см. В зоне с высокой урожайностью наибольшая высота – 12,0 см отмечена в точке 3, при общей дозе внесения удобрений – 570 кг/га. С уменьшением дозы удобрений до 400 кг/га происходит замедление роста на 1,2 см.

Густота растений озимой пшеницы в зоне с низкой урожайностью наибольшая в точке 9, при общей дозе внесения удобрений – 570 кг/га и равняется 312 шт./м<sup>2</sup>. У растений озимой пшеницы в зоне со средней урожайностью густота варьируется при общей дозе внесения удобрений – 500 кг/га от 306 до 324 шт./м<sup>2</sup>. В зоне с высокой урожайностью наилучшая густота – 342 шт./м<sup>2</sup> наблюдалась в точке 6, при общей дозе внесения удобрений – 500 кг/га. С уменьшением общей дозы удобрений в точке 4 до 400 кг/га отмечено снижение густоты растений до 324 шт./м<sup>2</sup>, а при увеличении общей дозы до 570 кг/га в точке 3 – до 252 шт./м<sup>2</sup>.

Самый высокий показатель коэффициента кущения – 3,5 в зоне с низкой урожайностью получен в точке 2, при дозе внесения минерального удобрения 400 кг/га, в зоне со средней урожайностью – 3,4-3,5 в точках 7, 8, при общей дозе – 500 кг/га и зоне с высокой урожайностью – 4,0 в точке 4, при общей дозе 400 кг/га.

Сравнительный анализ параметров растений озимой пшеницы по зонам урожайности предшественника показал, что корневая система развивается лучше в зоне с низкой урожайностью – 13,1 см, в точке 2, с общей дозой внесения минеральных удобрений – 400 кг/га. Наибольшая высота растений – 12,2 см получена при общей дозе внесения – 570 кг/га в низкой зоне урожайности в точке 9. Установлено, что густота растений озимой пшеницы наибольшая – 342 шт./м<sup>2</sup> в точке 6 в высокой зоне урожайности с общей дозой внесения минерального удобрения – 500 кг/га. Самый высокий коэффициент кущения – 4,0 получен в зоне с высокой урожайностью (точка 4), при общей дозе внесения – 400 кг/га.

Общий вид растений и корневой системы озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе кущения представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Общий вид растений и корневой системы озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе кущения

Фенологические наблюдения за растениями озимой пшеницы после второй подкормки провели 15.04.2021 г. в фазу трубкование.

Спутниковый мониторинг при помощи специализированного программного обеспечения «OneSoil» показал, что в данный период проведения фенологических наблюдений произошел интенсивный рост стеблей и относительный индекс вегетации посевов на опытном поле составил от 0,40 до 0,61 в зависимости от варианта опыта (рисунок 12).

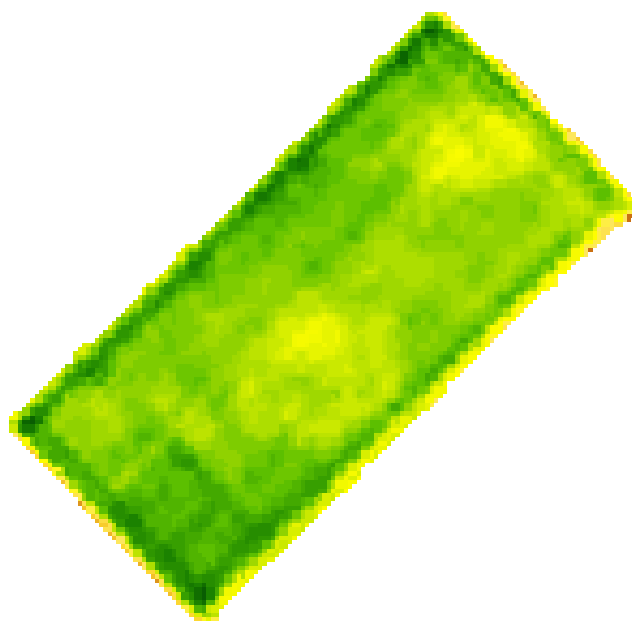


Рисунок 12 – Карта индекса вегетации NDVI, по состоянию на 15.04.2021 г.

Из представленной карты видно, что в зоне с низкой урожайностью предшественника растения озимой пшеницы развивались лучше.

Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе трубкования представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе трубкования

Параметры растений озимой пшеницы в фазе выход в трубку представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Усредненные параметры растений озимой пшеницы по опытным точкам

№ точки	Индекс вегетации	Длина корневой системы, см	Средняя высота растения, см	Густота, шт./м <sup>2</sup>	Коэффициент кущения	Суммарная доза внесенных удобрений, кг/га
1	высокий	10,8	22,7	340	3,3	670
2	средний	13,6	22,2	344	4,5	550
3	низкий	11,8	19,9	282	3,1	670
4	средний	12,8	19,9	324	4,0	550
5	низкий	11,7	20,8	342	3,3	600
6	низкий	11,9	22,0	352	4,3	700
7	низкий	11,2	21,6	324	4,1	600
8	средний	11,6	19,6	328	4,4	650
9	высокий	12,3	23,3	342	4,7	770
10	высокий	10,8	20,6	336	3,2	600

Дальнейший сравнительный анализ развития озимой пшеницы проводили по зонам с различными относительными уровнями индекса вегетации растений, полученных с квадрокоптера и по данным спутникового мониторинга за опытным полем 6/3 в программе «OneSoil».

Суммарная доза внесенных удобрений после основного внесения, с посевом и после первой и второй подкормок приведена для оценки их влияния на рост и развитие растений озимой пшеницы по зонам урожайности предшественника.

Из таблицы 4 видно, что у растений озимой пшеницы в зонах с низким индексом вегетации корневая система развивается лучше в точке 6 при суммарной дозе внесения удобрений – 700 кг/га, длина составляет – 11,9 см. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит замедление роста корневой системы на 0,7 см. У растений озимой пшеницы в зоне со средним индексом вегетации корневая система развивается лучше в точке 2 при суммарной дозе внесения удобрений – 550 кг/га и составляет – 13,6 см, что на 2,0 см больше, чем в точке 8 при суммарной дозе внесения – 650 кг/га. В зоне с высоким индексом вегетации корневая система развивается лучше в точке 9, при суммарной дозе внесения минеральных удобрений – 770 кг/га и

равняется 12,3 см. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит замедление роста корневой системы на 1,5 см.

Наибольшая высота растений озимой пшеницы в зоне с низким индексом вегетации – 22,0 см получена в точке 6 при суммарной дозе внесения удобрений – 700 кг/га. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит замедление роста растений. У растений озимой пшеницы в зоне со средним индексом вегетации наибольшая высота – 22,2 см отмечена в точке 2, при суммарной дозе внесения удобрений – 550 кг/га. Выявлено, что при увеличении суммарной дозы минерального удобрения происходит уменьшение высоты растений на 0,6 см. В зоне с высоким индексом вегетации наиболее высокая высота растений – 23,3 см была получена в точке 9 при суммарной дозе внесения удобрений – 770 кг/га. Установлено, что с уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит замедление роста на 2,7 см.

Густота растений озимой пшеницы в зоне с низким уровнем вегетации наибольшая при суммарной дозе внесения удобрений – 700 кг/га в точке 6 и равняется – 352 шт./м<sup>2</sup>. Наибольшая густота – 344 шт./м<sup>2</sup> получена в зоне со средним индексом вегетации растений в точке 2, при суммарной дозе внесения удобрений – 550 кг/га. В зоне с высоким уровнем вегетации наилучшая густота отмечена в точке 9 – 342 шт./м<sup>2</sup>, при суммарной дозе внесения удобрений – 770 кг/га. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га в точке 10 происходит уменьшение числа растений до 336 шт./м<sup>2</sup>.

В зоне с низким уровнем вегетации самый высокий коэффициент кущения – 4,3 получен в точке 6, при суммарной дозе внесения минерального удобрения 700 кг/га, в зоне со средним индексом вегетации в точке 2 – 4,5, при суммарной дозе – 550 кг/га и в зоне с высоким индексом вегетации – 4,7 в точке 9, при суммарной дозе внесения минерального удобрения 770 кг/га.

Сравнительный анализ параметров растений озимой пшеницы по зонам индекса вегетации показал, что корневая система развивалась лучше в зоне со средним индексом вегетации с суммарной дозой внесения минеральных

удобрений – 550 кг/га в точке 2, где длина корней составила – 13,6 см. Наибольшая высота растений – 23,3 см, была отмечена в точке 9 зоны с высоким индексом вегетации при суммарной дозе внесения – 770 кг/га. Установлено, что густота растений озимой пшеницы наибольшая – 352 шт./м<sup>2</sup> в точке 6 в высокой зоне вегетации с суммарной дозой внесения минерального удобрения 700 кг/га. Самый высокий коэффициент кущения – 4,7 получен в точке 9, при суммарной дозе внесения минерального удобрения – 770 кг/га.

Общий вид растений и корневой системы озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе трубкования представлен на рисунке 14.

В фазе колошения снимки со спутника показали, что на 28 мая общая картина вегетации по полю кардинально изменилась (рисунок 15).



Рисунок 14 – Общий вид растений и корневой системы озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе трубкования



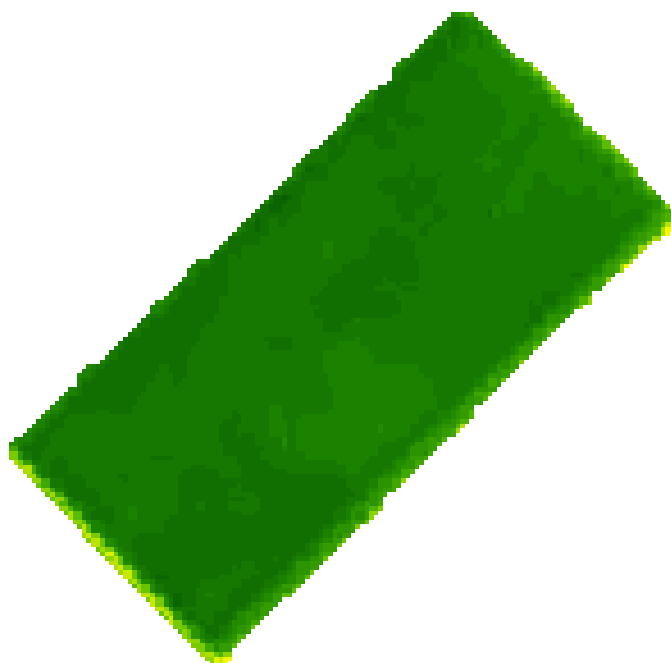


Рисунок 15 – Карта биомассы растений озимой пшеницы, полученная при помощи спутникового мониторинга

К фазе колошение растения подросли, появились колосья, увеличилась листостебельная масса и нормализованный относительный индекс вегетации растений на опытном поле в зависимости от зон и вариантов опыта стал варьировать от 0,66 до 0,78. Вегетация растений озимой пшеницы и погодноклиматические условия за 28 мая представлены на диаграмме рисунка 16.

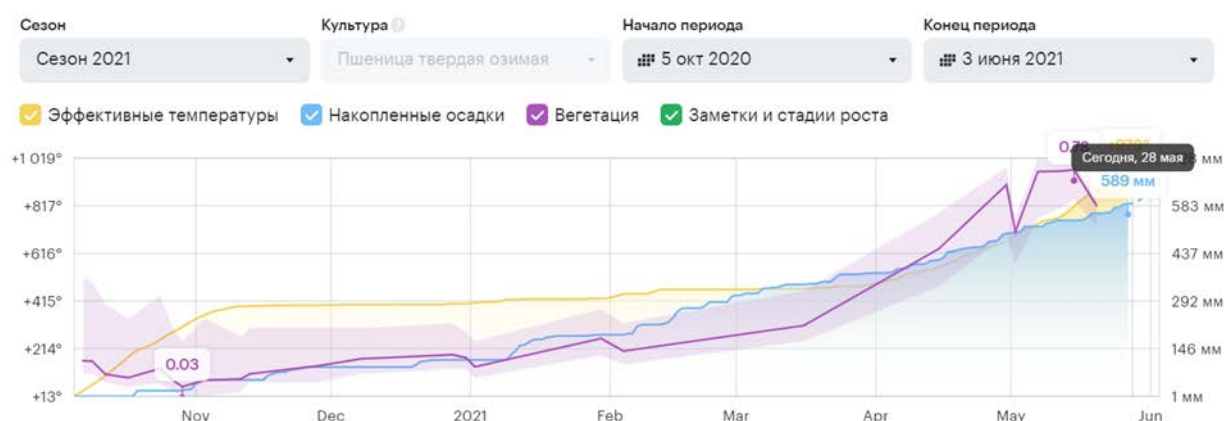


Рисунок 16 – Диаграмма вегетации растений озимой пшеницы и погодноклиматические условия опытного поля 6/3

Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе колошения представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 – Общий вид растений озимой пшеницы сорта «Гром» РС-2 в фазе колошения

Параметры растений озимой пшеницы в фазе колошения представлены в таблице 5, из которой видно, что высота растений озимой пшеницы в зоне с низким индексом вегетации наибольшая в точке 3 при суммарной дозе внесения удобрений – 670 кг/га и равняется 79,9 см.

Таблица 5 – Усредненные параметры растений озимой пшеницы по опытным точкам

№ точки	Индекс вегетации	Средняя высота растений, см	Средняя длина колоса, см	Число растений, шт./м <sup>2</sup>	Суммарная доза внесенных удобрений, кг/га
1	высокий	81,5	8,4	650	670
2	средний	78,6	7,9	558	550
3	низкий	79,9	9,0	686	670
4	средний	78,7	8,6	692	550
5	низкий	78,9	8,6	656	600
6	низкий	77,6	8,3	658	700
7	низкий	74,7	8,8	612	600
8	средний	78,8	8,9	762	650
9	высокий	82,1	8,5	672	770
10	высокий	80,3	8,1	568	600

С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит

замедление роста высоты растений на 5,2 см, а при увеличении суммарной дозы удобрений до 700 кг/га высота уменьшается на 2,3 см. Наибольшая высота растений озимой пшеницы – 78,8 см в зоне со средним индексом вегетации получена в точке 8 при суммарной дозе внесения удобрений – 650 кг/га, при уменьшении суммарной дозы минерального удобрения до 550 кг/га происходит незначительное уменьшение высоты растений на 0,1- 0,2 см. В зоне с высоким индексом вегетации самая высокая высота растений отмечена в точке 9 – 82,1 см, при суммарной дозе внесения удобрений – 770 кг/га. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит замедление роста высоты растений на 1,8 см.

Средняя длина колоса растений озимой пшеницы в зоне с низким индексом вегетации наибольшая в точке 3 – 9,0 см, при суммарной дозе внесения удобрений – 670 кг/га. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит незначительное уменьшение длины колоса на 0,4 см, а при её увеличении до 700 кг/га высота уменьшается на 0,7 см. В зоне со средним индексом вегетации самая большая длина колоса – 8,9 см получена в точке 8 при суммарной дозе внесения удобрений – 650 кг/га, при её уменьшении до 550 кг/га происходит уменьшение длины колоса на 1,0 см. В зоне с высоким индексом вегетации длина колоса больше в точке 9, при суммарной дозе внесения удобрений – 770 кг/га и равняется 8,5 см. С уменьшением суммарной дозы удобрений до 600 кг/га происходит уменьшение длины колоса на 0,4 см.

Число растений озимой пшеницы на 1 м<sup>2</sup> в зоне с низким уровнем вегетации наибольшее в точке 6, при суммарной дозе внесения удобрений – 700 кг/га, и равняется 686 шт./м<sup>2</sup>. У растений озимой пшеницы в зоне со средним индексом вегетации наибольшая густота – 762 шт./м<sup>2</sup> отмечена в точке 8, при суммарной дозе внесения удобрений – 650 кг/га. В зоне с высоким уровнем вегетации наилучшая густота – 672 шт./м<sup>2</sup> получена в точке 9, при суммарной дозе внесения удобрений – 770 кг/га. С уменьшением суммарной дозы удобрений в точке 10 до 600 кг/га происходит уменьшение чис-

ла растений до 568 шт./м<sup>2</sup>, что на 102 шт./м<sup>2</sup> меньше.

Сравнительный анализ параметров растений озимой пшеницы по зонам индекса вегетации показал, что наибольшая высота растений озимой пшеницы – 82,1 см получена в зоне с высоким индексом вегетации растений в точке 9, при суммарной дозе – 770 кг/га. Наибольшая длина колоса отмечена в точке 3 зоны с низким индексом вегетации с дозой внесения удобрений 670 кг/га и составляет 9,0 см. Установлено, что самое большое число растений – 762 шт./м<sup>2</sup> наблюдается в зоне со средним уровнем вегетации в точке 8 при внесении суммарной дозы – 650 кг/га.

### **3.2 Сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы по вариантам опыта и результатам картирования**

С приближением сроков уборки процесс созревания озимой пшеницы ускорился, зерно постепенно стало утрачивать зелёную окраску и начало желтеть. Влажность зерна находилась на уровне 20 %-25 % и с каждым днём снижалась. При полной спелости влажность зерна не превышала 14 %. Зерно затвердело и разорвало связи с материнским растением, при этом стебель стал засыхать и терять листья.

Спутниковый мониторинг показал, что нормализованный относительный индекс вегетации растений начал также постепенно снижаться до интервала 0,40-0,52 (рисунок 18).

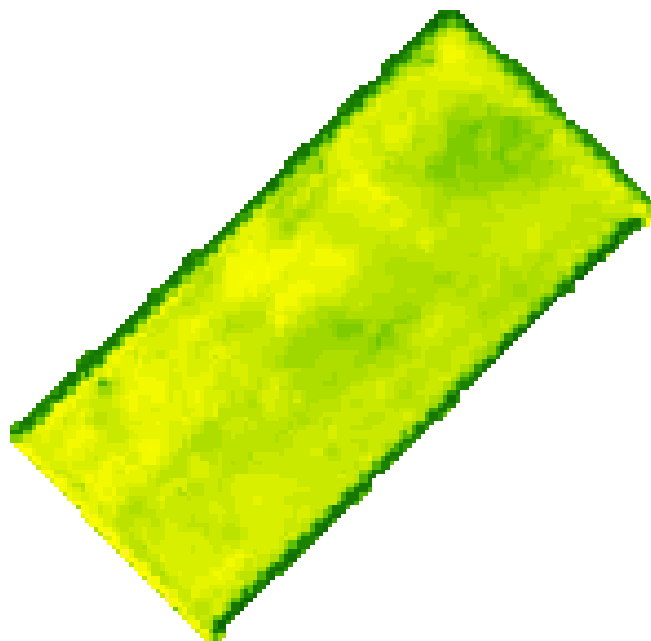


Рисунок 18 – Карта биомассы растений озимой пшеницы, полученная при помощи спутникового мониторинга, по состоянию на 21.06.2021 г.

В фазу полной спелости озимой пшеницы сорта «Гром» РС-3 (5 июля), перед уборкой опытного поля по вариантам опыта был проведен предуборочный отбор снопов с целью определения параметров растений и биологической урожайности культуры (рисунок 19).



Рисунок 19 – Предуборочный отбор снопов озимой пшеницы с опытного поля

Уборку озимой пшеницы сорта «Гром» РС-3 по предшественнику – подсолнечник провели с 08.07 по 09.07.2021 г. зерноуборочным комбайном

Полесье GS-12, оборудованным системой картирования урожайности Trimble Yield Monitoring (рисунок 20).



Рисунок 20 – Общий вид монитора Trimble TMX-2050 в кабине зерноуборочного комбайна Полесье GS-12 при картировании урожайности озимой пшеницы

Условия уборки были типичные для данного вида работ во всех вариантах опыта: влажность почвы в слое 0-10 см в среднем составляла от 12,6 % до 18,6 %, твердость почвы находилась в диапазоне от 0,2 до 1,1 МПа, влажность зерна варьировала от 11,6 % до 13,4 %, что соответствовало агротехническим требованиям к уборке озимой пшеницы.

Параметры растений озимой пшеницы после ручного разбора снопов и показатели урожайности, полученные после картирования в соответствии с зонами карты (приложение Е) и их обработки в программном обеспечении «Trimble AG Software» приведены в таблице 6.

Из таблицы 6 видно, что у растений озимой пшеницы в зоне с низкой урожайностью предшественника в точках 1, 2, 5, 9 индекс вегетации в зависимости от суммарных доз внесенных минеральных удобрений изменяется от низких до средних и высоких значений, при этом отношение массы зерна к массе соломы варьируется от 1:1 до 1:1,2, средняя высота растений от 79,3 до 82,2 см, средняя длина колоса от 8,0 до 8,6 см и влажность зерна от 11,7 % до 12,3 %.

Таблица 6 – Усредненные параметры озимой пшеницы по опытным точкам поля 6/3, в зависимости от внесенных суммарных доз минеральных удобрений

№ точки	Зона урожайности предшественника	Индекс вегетации	Суммарная доза внесенных удобрений, кг/га	Отношение массы зерна к массе соломы	Средняя высота растения, см	Средняя длина колоса, см	Влажность зерна, %	Уборочная урожайность в пересчете на стандартную влажность, ц/га
1	низкая	высокий	670	1:1,2	81,9	8,4	11,7	63,5
2	низкая	средний	550	1:1,1	79,3	8,0	12,1	58,6
3	высокая	низкий	670	1:1	80,3	9,0	13,4	63,7
4	высокая	средний	550	1:1,1	79,4	8,9	11,9	66,8
5	низкая	низкий	600	1:1	79,6	8,6	12,3	59,4
6	высокая	низкий	700	1:1	79,8	8,4	12,0	63,0
7	средняя	низкий	600	1:1	79,7	9,0	11,6	66,1
8	средняя	средний	650	1:1,1	79,1	8,9	12,4	57,8
9	низкая	высокий	770	1:1,2	82,2	8,6	12,3	52,9
10	средняя	высокий	600	1:1,2	81,4	8,7	12,4	66,4

У растений озимой пшеницы в зоне со средней урожайностью предшественника в точках 7, 8, 10 индекс вегетации изменяется аналогично, при этом отношение массы зерна к массе соломы варьируется от 1:1 до 1:1,2, средняя высота растений от 79,1 до 81,4 см, средняя длина колоса от 8,7 до 9,0 см, влажность зерна от 11,6 % до 12,4 %.

В зоне с высокой урожайностью предшественника в точках 3, 4, 6 индекс вегетации в зависимости от суммарных доз внесенных минеральных удобрений изменяется лишь от низких до средних значений, при этом отношение массы зерна к массе соломы варьируется от 1:1 до 1:1,1, средняя высота растений от 79,4 до 80,3 см, средняя длина колоса от 8,4 до 9,0 см и влажность зерна от 11,9 % до 13,4 %.

В связи с тем, что итоговым показателем для оценки влияния исследуемых экспериментальных вариантов дифференцированного внесения удобрений с различными суммарными дозами на рост и развитие растений озимой пшеницы, и обоснования наиболее эффективного варианта является максимальный уровень урожайности, то можно сделать следующие выводы:

- наибольшая урожайность озимой пшеницы – 63,5 ц/га получена в точке 1 зоны с низкой урожайностью предшественника и высоким индексом вегетации, при оптимальной суммарной дозе минеральных удобрений – 670 кг/га;

- выявлено, что в зонах с низкой урожайностью предшественника с увеличением суммарной дозы удобрений от оптимальной до 770 кг/га происходит снижение урожайности на 10,6 ц/га, а при уменьшении суммарной дозы до 600 и 550 кг/га происходит снижение урожайности на 4,1 и 4,9 ц/га соответственно;

- в зоне со средней урожайностью предшественника наибольшая урожайность озимой пшеницы – 66,4 ц/га получена в точке 10 также с высоким индексом вегетации, при оптимальной суммарной дозе минеральных удобрений – 600 кг/га;

- определено, что в зонах со средней урожайностью предшественника с увеличением дозы удобрений до 650 кг/га происходит уменьшение урожайности на 8,6 ц/га;

- в зоне с высокой урожайностью предшественника наибольшая урожайность озимой пшеницы – 66,8 ц/га получена в точке 4 также со средним индексом вегетации, при оптимальной суммарной дозе минеральных удобрений – 550 кг/га;

- установлено, что в зонах с высокой урожайностью предшественника с увеличением суммарной дозы удобрений до 670 и 700 кг/га происходит уменьшение урожайности на 3,1 и 3,8 ц/га соответственно.



#### **4 Экономическая оценка дифференцированного внесения минеральных удобрений с обоснованием наиболее эффективного варианта**

Для экономической оценки дифференцированного внесения удобрений и обоснования наиболее эффективного варианта за основу взята традиционная (базовая) технология, применяемая при возделывании и уборке озимой пшеницы на валидационном полигоне КубНИИТиМ (технологическая карта, приложение Ж). На основе базовой технологической карты составлена новая технологическая карта с элементами координатного земледелия и усредненными оптимальными дозами, полученными в результате проведенных экспериментальных исследований для дифференцированного внесения минеральных удобрений в зонах с различной урожайностью предшественника (приложение И).

Значение урожайности озимой пшеницы при применении традиционной технологии – 57,8 ц/га, взято по результатам проведенных исследований из точки 8, в которой удобрения были внесены в соответствии с хозяйственными дозами:

- основное внесение удобрений: аммофос и калий хлористый по 150 кг/га;
- с посевом – аммофос 50 кг/га;
- первая и вторая подкормка аммиачной селитрой по 150 кг/га.

Для новой технологии взята усредненная максимальная урожайность – 65,6 ц/га из наиболее эффективных экспериментальных вариантов. Оптимальные дозы внесения минеральных удобрений также усреднены:

- основное внесение удобрений: аммофос и калий хлористый по 145 кг/га;
- с посевом – аммофос 50 кг/га;
- первая подкормка аммиачной селитрой – 150 кг/га, вторая – 117 кг/га.

Сравниваемые технологии включают в себя одинаковый набор технологических операций и отличаются между собой следующими параметрами:

1) различной дозой внесения минеральных удобрений на следующих технологических операциях:

- при основном внесении минеральных удобрений под посев озимой пшеницы (по 145 кг/га аммофоса и калия хлористого в технологии с элементами координатного земледелия, против 150 кг/га указанных видов удобрений в традиционной технологии);

- при второй поверхностной подкормке озимых (117 кг/га аммиачной селитры в технологии с элементами координатного земледелия, против 150 кг/га указанного минерального удобрения в традиционной технологии);

2) различным количеством вспомогательных рабочих на операциях внесения минеральных удобрений машинно-тракторными агрегатами с Vogballe M2 (два вспомогательных рабочих в технологии с элементами координатного земледелия против четырех вспомогательных рабочих в традиционной технологии);

3) наличием в технологии с элементами координатного земледелия систем картирования урожайности Trimble YM на зерноуборочных комбайнах с последующей программной обработкой полученных данных.

Экономическая оценка применения машинно-тракторного парка в базовой и новой технологиях проведена в соответствии с действующим межгосударственным стандартом ГОСТ 34393-2018 [43]. Расчеты по определению показателей экономической оценки проведены по данным эксплуатационно-технологической оценки, согласно технологическим картам, с помощью программного обеспечения «Экономическая оценка», на общую площадь озимой пшеницы – 1000 га. Цена на с.-х. технику взята без учета НДС, продолжительность работы в сутки – 10 часов.

Проведем сравнительный анализ показателей экономической оценки технологии возделывания и уборки озимой пшеницы с применением элементов координатного земледелия по сравнению с традиционной технологией.

Для применения элементов координатного земледелия в технологии возделывания и уборки озимой пшеницы была произведена закупка и установка

необходимых технических средств и оплачены услуги по применению специализированного программного обеспечения для обработки полученных данных. Величина необходимых денежных средств для технологии с элементами координатного земледелия, состоящая из дополнительных капитальных вложений в технические средства и стоимости оказанных услуг для внедрения указанных мероприятий рассчитана в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет суммы необходимых дополнительных вложений денежных средств в технологию с элементами координатного земледелия на 1000 га

Наименование	Цена, руб.	Количество, шт.	Стоимость, руб.
<i>Технические средства</i>			
«Агронавигатор-АСУР-Дозатор» для дифференцированного внесения	175 236	2	350 472
Система картирования урожайности Trimble YM	909 150	4	3 636 600
<i>Услуги</i>			
Создание карт NDVI при помощи аэрофотосъемки	1 023 000	1	1 023 000
Программное обеспечение для создания карт Trimble AG	99 000	1	99 000
Итого:			5 109 072

Таким образом, размер необходимых дополнительных вложений денежных средств в технологию с элементами координатного земледелия составил 5 109,1 тыс. руб.

Проведем сравнительный анализ показателей экономической оценки использования различных вариантов МТП в технологиях возделывания и уборки озимой пшеницы: традиционной технологии и технологии с элементами координатного земледелия (таблица 8).

При применении нового МТП с использованием элементов координатного земледелия по сравнению с базовым МТП снизилась трудоемкость механизированных работ на 13,6 %, уменьшилась необходимая потребность в

обслуживающем персонале на 8 человек или на 33,3 %. Потребность в топливе для обоих вариантов применения МТП одинаковая.

Таблица 8 – Показатели экономической оценки использования различных вариантов МТП

Наименование показателя	Значение показателя по МТП	
	базовый	новый с применением элементов координатного земледелия
Затраты труда, чел.-ч	3150	2721
Потребность:		
в механизаторах, чел.	8	8
вспомогательных рабочих, чел.	16	8
топливе, т	55,1	55,1
капитальных вложениях, тыс. руб.	130 629	134 616
Эксплуатационные затраты денежных средств, тыс. руб.	13 461	13 735
Совокупные затраты денежных средств, тыс. руб.	13 461	14 857

Величина капитальных вложений в новый МТП с применением элементов координатного земледелия выше на 3 987 тыс. руб. или на 3,1 % по сравнению со стоимостью базового МТП, что связано с дооснащением техническими средствами для координатного земледелия: агронавигаторами для дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» и системами картирования урожайности Trimble YМ. Удельные эксплуатационные затраты денежных средств при применении МТП с элементами координатного земледелия увеличились на 274 руб./га или на 2,0 %. В совокупные затраты денежных средств при применении нового МТП с элементами координатного земледелия помимо эксплуатационных затрат денежных средств включена оплата услуг по созданию карт NDVI с беспилотного летательного аппарата и стоимость программного обеспечения для создания карт урожайности Trimble AG. Величина удельных совокупных затрат денежных средств при применении нового МТП с элементами координатного земледелия выше по сравнению с базовым МТП на 1396 руб./га или на 10,4 %.

Об эффективности применения технологии с элементами координатного земледелия по сравнению с традиционной технологией свидетельствуют показатели, приведенные в таблице 9.

Таблица 9 – Показатели экономической эффективности технологий возделывания и уборки озимой пшеницы

Наименование показателя	Значение показателя по варианту технологии	
	традиционная	новая с элементами координатного земледелия
Урожайность, т/га	5,78	6,56
Стоимость реализованной продукции, тыс. руб.	73 984,0	83 968,0
Капитальные вложения, тыс. руб.	130 628,9	134 615,9
Оборотные фонды (всего), тыс. руб., в том числе:	35 129,7	34 005,4
- топливо	2 981,5	2 981,5
- семена	5 000,0	5 000,0
- удобрения	24 028,0	22 903,7
- средства защиты растений	3 120,2	3 120,2
Себестоимость производства продукции, тыс. руб.	45 610,4	45 881,5
Прибыль, тыс. руб.	28 373,6	38 086,5
Рентабельность культуры, %	62,2	83,0
Прибыль, руб./га	28 373,6	38 086,5
Прибыль, руб./т	4 908,9	5 821,1
Затраты труда, чел.-ч/т	0,54	0,41
Дополнительные затраты, руб./га	-	5 383,1
Дополнительно полученная прибыль, руб./га	-	9 712,9

Проведенный сравнительный анализ показателей экономической эффективности технологий возделывания и уборки озимой пшеницы показал, что по всем показателям новая технология с элементами координатного земледелия является более эффективной по сравнению с традиционной, т.к. урожайность озимой пшеницы увеличилась на 0,78 т/га или на 13,5 %, что повлияло на рост стоимости реализованной продукции на 9 984 тыс. руб. Прибыль от реализации

продукции выросла на 9,71 млн. руб. или на 34,2 %. Рентабельность реализованной продукции увеличилась на 20,8 п.п. и составила 83 %.

В дополнительные затраты по новой предлагаемой технологии с элементами координатного земледелия включена не только разница в совокупных затратах денежных средств по сравнению с традиционной технологией, но и дополнительные капитальные вложения на дооснащение новой технологии техническими средствами для координатного земледелия.

Установлено, что на каждый 1 рубль дополнительных затрат по внедрению новой технологии с элементами координатного земледелия приходится 1,8 рубля дополнительной прибыли, т.е. дополнительные затраты полностью окупаются.

Применение новой технологии с элементами координатного земледелия при возделывании и уборке озимой пшеницы вместо традиционной технологии позволило получить дополнительную погектарную прибыль в размере 9 713 руб./га.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью научно-исследовательской работы являлось исследование экономической эффективности дифференцированного внесения минеральных удобрений и разработка метода создания карт-заданий на основе цифровых карт урожайности предшественника и карт биомассы растений, полученных с БПЛА.

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

- применяемый в сельскохозяйственных предприятиях традиционный подход к проектированию системы удобрения не позволяет эффективно использовать имеющиеся экономические и природные ресурсы, а также получать потенциально возможную урожайность сельхозкультур;

- дифференцированное внесение минеральных удобрений – это совершенно новый подход в сельском хозяйстве, который предусматривает внесение оптимальных доз удобрений только в тех зонах поля, где это необходимо и при этом позволяет сократить количество вносимых минеральных удобрений до 10 %, стоимость которых составляет одну из основных статей затрат при производстве озимой пшеницы;

- разработанный метод создания карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений на основе карт урожайности предшественника и карт индекса вегетации растений позволяет оперативно строить электронные карты-задания;

- использование цифровой карты урожайности предшественника способствует планированию дифференцированного внесения основной дозы минеральных удобрений с учетом особенностей поля под следующую сельскохозяйственную культуру;

- применение квадрокоптера позволяет получать информацию по полю в виде электронной карты индекса вегетации, по которой формируется электронная карта-задание на дифференцированные подкормки растений;

- в зоне с низкой урожайностью предшественника (подсолнечника) и высоким индексом вегетации при суммарной дозе минерального удобрения – 670 кг/га (основное внесение, с посевом и две подкормки) получена самая высокая урожайность озимой пшеницы – 63,5 ц/га, с увеличением суммарной дозы удобрений до 770 кг/га происходит уменьшение урожайности на 10,6 ц/га, а при уменьшении до 600 и 550 кг/га происходит снижение урожайности на 4,1 и 4,9 ц/га соответственно;

- в зоне со средней урожайностью предшественника и высоким индексом вегетации при суммарной дозе минерального удобрения – 600 кг/га получена самая высокая урожайность озимой пшеницы – 66,4 ц/га, с увеличением суммарной дозы удобрений до 650 кг/га происходит уменьшение урожайности на 8,6 ц/га;

- в зоне с высокой урожайностью предшественника и средним индексом вегетации при суммарной дозе минерального удобрения 550 кг/га получена самая высокая урожайность озимой пшеницы – 66,8 ц/га, с увеличением суммарной дозы удобрений до 670 и 700 кг/га происходит уменьшение урожайности на 3,1 и 3,8 ц/га соответственно;

- оптимальными дозами для зон с низкой урожайностью предшественника (подсолнечника) являются: при основном внесении под посев озимой пшеницы (аммофос и калий хлористый по 185 кг/га), при посеве – 50 кг/га аммофоса, при первой подкормке посевов (аммиачная селитра – 150 кг/га) и при второй – аммиачная селитра – 100 кг/га;

- для зон со средней урожайностью предшественника: аммофос и калий хлористый по 150 кг/га под посев озимой пшеницы, 50 кг/га аммофоса при посеве, на первой подкормке растений – аммиачная селитра – 150 кг/га и на второй – аммиачная селитра – 100 кг/га;

- в зонах с высокой урожайностью предшественника: аммофос и калий хлористый по 100 кг/га под посев, 50 кг/га аммофоса с посевом, на первой и второй подкормках – аммиачная селитра по 150 кг/га;



- по всем показателям новая технология с элементами координатного земледелия является более эффективной по сравнению с традиционной, т.к. урожайность озимой пшеницы увеличилась на 7,8 ц/га, что повлияло на рост стоимости реализованной продукции на 13,5 %, при этом прибыль от реализации пшеницы выросла на 34,2 % и рентабельность реализованной продукции составила 83 %;

- применение новой технологии с элементами координатного земледелия при возделывании и уборке озимой пшеницы вместо традиционной технологии позволило получить дополнительную прибыль в размере 9 713 руб./га.

Результаты НИР будут содействовать применению электронных карт урожайности предшественника и карт биомассы растений для разработки карт-заданий на дифференцированное внесение минеральных удобрений во исполнение Стратегии и ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство».

## 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 Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с.

3 Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р (Собрание законодательства Российской Федерации, 2017, № 32 от 7 августа 2017 г., ст. 5138).

4 Петухов Д.А., Трубников А.В., Негреба О.Н., Свиридова С.А., Марченко В.О., Слесарев В.Н. Результаты исследований способов выявления внутриполевой неоднородности почвенного покрова: Отчет о НИР, Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех»: Новокубанск – 2017. 116 с.

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

6 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.

7 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.

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

9 Совершенствование метода разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений на основе цифровых карт урожайности и индекса вегетации растений : отчет о НИР / Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех»; Подьяблонский П.А., Потапкин М.И., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Иванов А.Б., Бондаренко Е.В., Белик М.А., Юрина Т.А., Негреба О.Н. [и др.]. Новокубанск, 2020. – 79 с.

10 Лобков В.Т., Плыгун С.А. Анализ приоритетных направлений развития земледелия на современном этапе научно-технического прогресса // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. – 2012. – № 2 (2). – С. 3–9.

11 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.

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

13 Петухов Д.А., Бондаренко Е.В., Иванов А.Б. Снижение затрат при посеве зерновых культур за счет применения системы параллельного вождения агрегата / Д.А. Петухов, Е.В. Бондаренко, А.Б. Иванов // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: (Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. XIV Международной науч.-практ. конф., 24-26 февр. 2021 г., г. Ростов-на-Дону. В рамках Агропром. форума юга России: выставок «Интерагромаш», «Агротехнологии». – Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2021. С. 296-297.

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

15 Оценка внутривополевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия / Федоренко В.Ф., Рухович Д.И., Королева П.В. [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 9. – С. 2–6.

16 Дифференцированное внесение азотных удобрений. Выгода или трата времени? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.promintel-agro.ru/novosti/differencirovannoe-vnesenie-azotnyh-udobreniy-vygoda-ili-trata-vremeni> (дата обращения 15.03.2021).

17 К вопросу разработки карт-заданий для дифференцированного внесения удобрений / Митрофанов С.В., Белых С.А., Благоев Д.А., Тетерин В.С., Липатов Н.В. // Техническое обеспечение сельского хозяйства. – 2020. – № 1 (2). С. 141–150.

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

19 Ущеповский 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.

20 Боровкова А.С., Цирулев А.П. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в условиях лесостепи Самарской области // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 4. – С. 56–61.

21 Матвеев Д.А. Методические подходы для реализации дифференцированного внесения азотных удобрений в посевах яровой пшеницы // Агрофизика. – 2012. – № 2 (6). – С. 16–23.

22 Беленков А.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Мазиров М.А. Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ-МСХА

имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. – 2011. – № 6. – С. 90–100.

23 Чекмарёв П.А., Лукманов А.А. Освоение элементов точного земледелия в практической агрохимии Республики Татарстан // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 3. – С. 3–4.

24 Ваулин А.В. Оптимизация азотного питания ячменя при внедрении точного земледелия // Агрохимический вестник. – 2013. – № 1. – С. 15–16.

25 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.

26 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.

27 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.

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

29 Любич В.А., Попов С.В., Бакиров Ф.Г., Долматов А.П., Курамшин М.Р. Дифференцированное внесение удобрений в системе точного земледелия // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – №1-1. – С. 73–75.

30 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 Geo & Экспо 2019 (28 июня – 7 июля). – Болгария, Албена: SGEM Organizing Team, 2019. – С. 501–508.

31 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.

32 Petukhov D A, Ivanov A B, Bondarenko E V, Trubnikov A V and Semizorov S A The efficiency of the differentiated application of mineral fertilizers in the production technology of winter wheat cultivation // In the journal: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (ESDCA 2021) 032042, 2021. 6 p. doi:10.1088/1755-1315/723/3/032042.

33 Денисов П.В., Иванов А.Б., Мишуоров Н.П., Петухов Д.А., Подъяблонский П.А., Трошко К.А. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы с использованием технологий дистанционного зондирования земли // Управление рисками в АПК. – 2021. – № 39. – С. 37–45.

34 Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.

35 Методика дифференцированного внесения удобрений в режиме online и опыт его проведения в условиях Самарской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://nenuda.ru/методика-дифференцированного-внесения-удобрений-в-режиме-о.html> (дата обращения 18.03.2021).

36 Онлайн или оффлайн: что эффективнее? [Электронный ресурс]. – URL: <https://kubsau.ru/entrant/podig/news/onlayn-ili-offlayn-chno-effektivnee/> (дата обращения 20.03.2021).

37 Труфляк Е.В. Мониторинг научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства : монография / Е.В. Труфляк, Н.Ю. Курченко, А.С. Креймер. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – 95 с.

38 Точное земледелие : учебное пособие / Е.В. Труфляк . – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 164 с.

39 Гольтяпин В.Я., Мишуров 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.

40 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.

41 Березовский В.Е., Прокофьев Н.А., Тельшев А.Н. Дифференцированное внесение азотных удобрений на основе данных дистанционного зондирования земли с беспилотных летательных аппаратов // Сахар. – 2017. – № 10. – С. 22-24.

42 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 II<sup>nd</sup> 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.

43 ГОСТ 34393-2018. Методы экономической оценки. М.: Стандартинформ, 2018. III, 12 с. (Техника сельскохозяйственная).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

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

### А.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.

### А.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.

### А.3 Методы определения показателей

А.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;



- 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;

- 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.;

- облёт 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.

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

- 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.

А.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, 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 устанавливают 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.

А.3.3 Расчет основной дозы удобрений для каждого элементарного участка поля производят расчетно-балансовым методом, по формуле

$$D_o = \frac{Y_n \cdot B - (П \cdot K_n + M_p \cdot P_o \cdot K_p)}{K_m}, \quad (A.1)$$

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

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

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

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

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

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

$P_{о}$  – содержание NPK в 1 тонне растительных остатков, кг/т;

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

$K_{м}$  – 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: «pk\_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 «pk\_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.

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

Данный индекс рассчитывают по формуле

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

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. 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 по формуле

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

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 (A.2), (A.3) рассчитывают карты-задания для дифференцированной подкормки и определяют среднюю по полю дозу подкормки  $N_{cp}$  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 вносятся, что дает экономию удобрений и соответственно дополнительный экономический эффект.

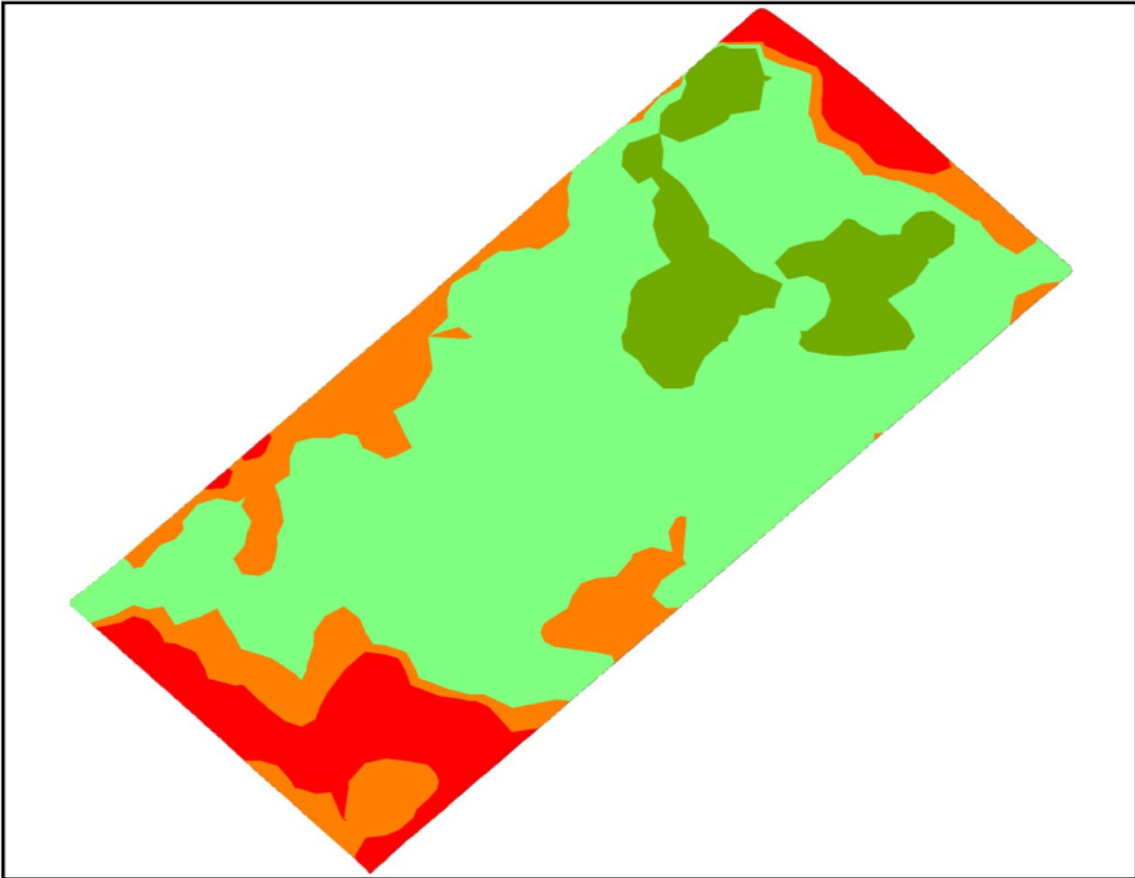
Карты-задания на дифференцированные подкормки растений создают по аналогии с картой-заданием на основное внесение удобрений в программе «Google Планета Земля», с последующей загрузкой их в контроллеры техники для дифференцированного внесения удобрений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б  
(справочное)

Карта урожайности предшествующей культуры

6(3) - 2020 Подсолнечник: Уборка  
Влажный урожай

3324,8 - 49744,7 кг/га	0,00 га
2900,1 - 3324,7 кг/га	4,41 га
2000,1 - 2900,0 кг/га	25,83 га
1000,1 - 2000,0 кг/га	6,98 га
0,0 - 1000,0 кг/га	4,70 га



Заказчик: KubNIINIM  
Хозяйство: ValidPolygon  
Поле: 6(3)  
Культура: 2020 Подсолнечник  
Имя: UBORKA SUN 2020  
Тип: Уборка  
Площадь: 40,78 га  
Дата начала: 20.08.2020 11:24  
Дата окончания: 28.08.2020 17:29  
Время затраты, ч: 11,0 ч.  
Уборка: кг  
Среднее: кг/га

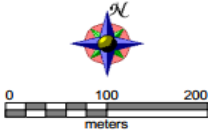


Рисунок Б.1 – Карта урожайности опытного поля 6/3 в 2020 г., 40,78 га (культура – подсолнечник)

ПРИЛОЖЕНИЕ В  
(справочное)

Карта-схема закладки производственного опыта по дифференцированному внесению основной дозы минеральных удобрений под посев озимой пшеницы

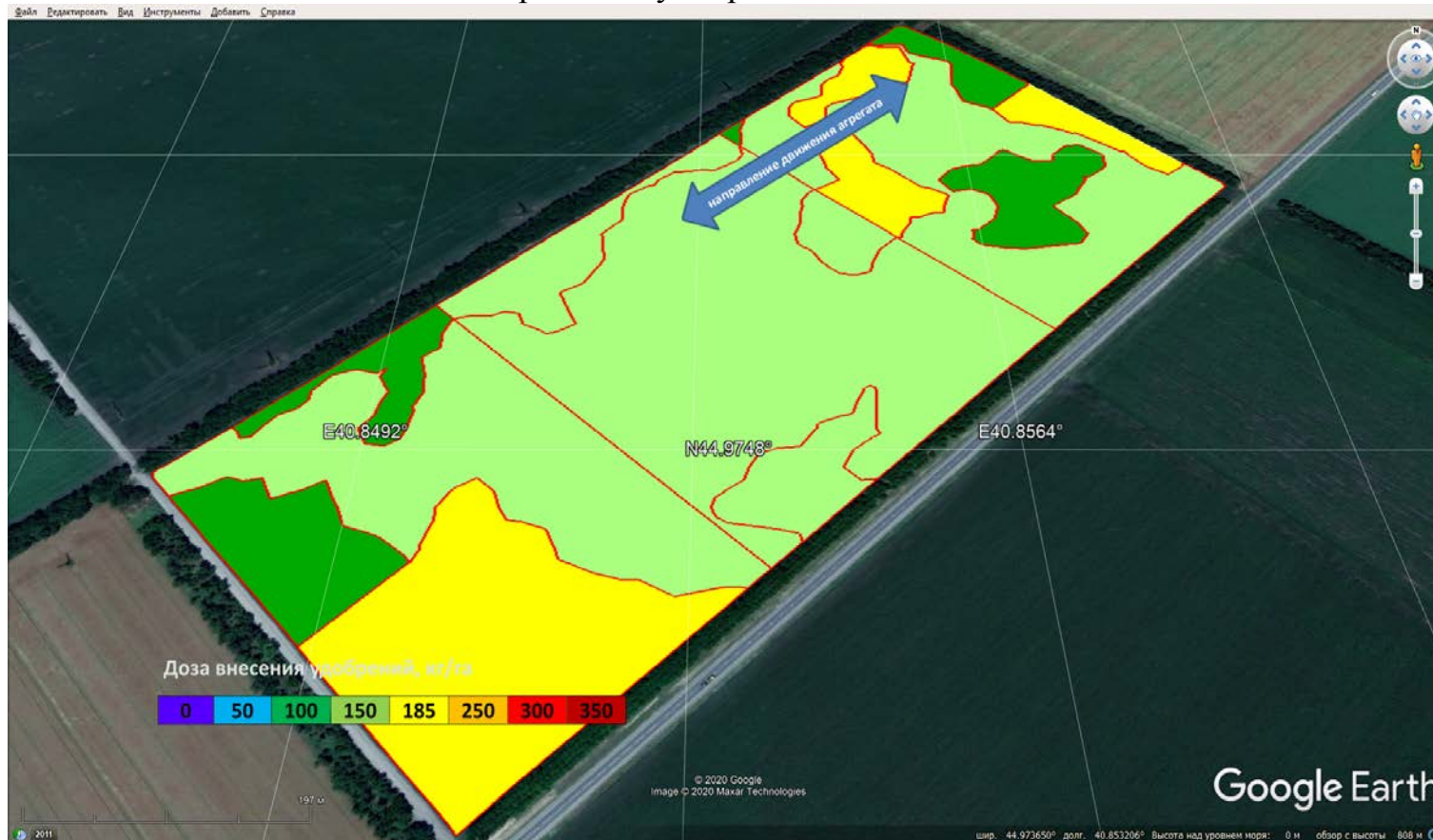


Рисунок В.1 – Карта-схема закладки производственного опыта по дифференцированному внесению аммофоса и калия хлористого под посев озимой пшеницы согласно карты-задания, разработанной для поля б/З



ПРИЛОЖЕНИЕ Г  
(справочное)

Карта биомассы растений озимой пшеницы, полученная при помощи обработки данных с БПЛА

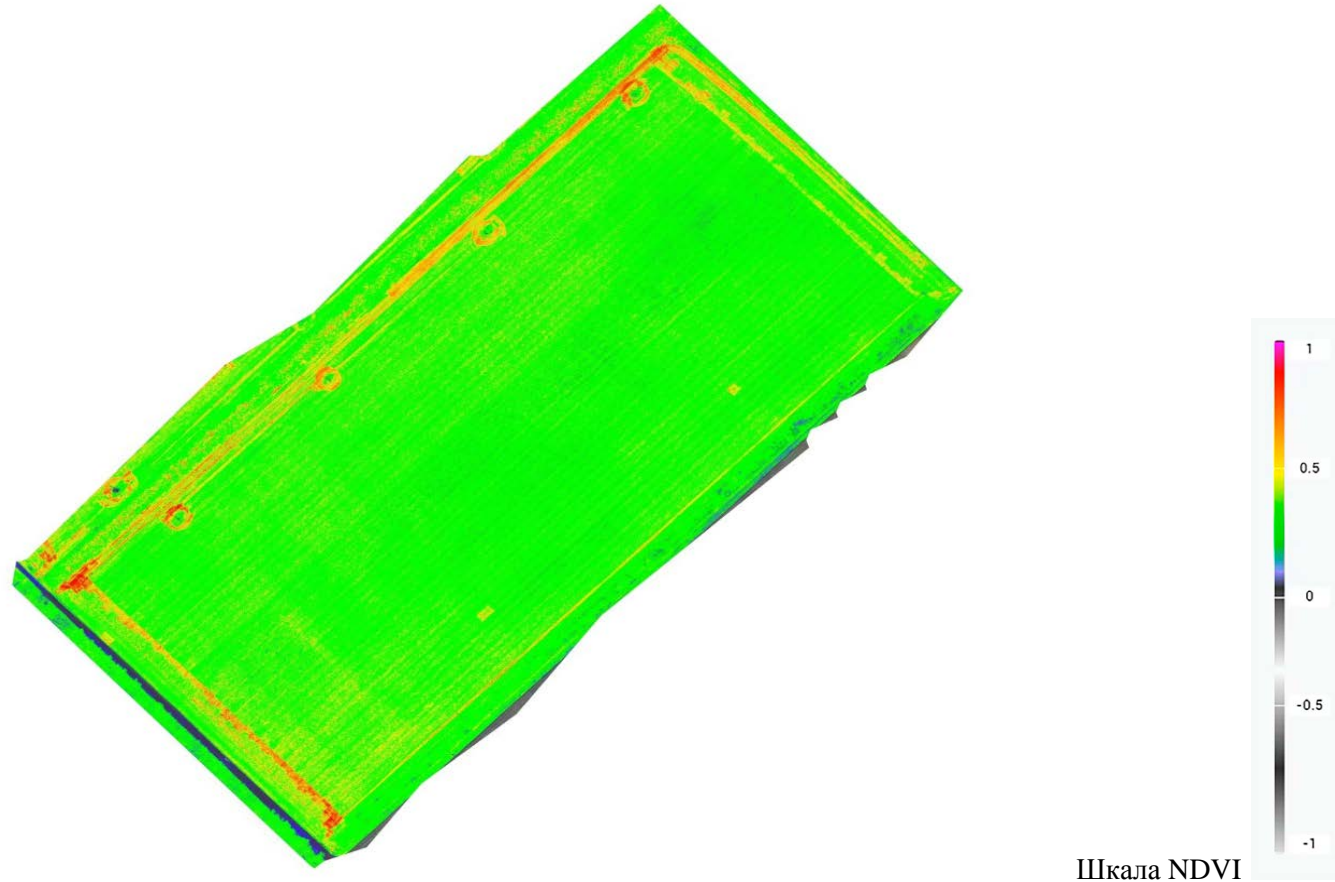


Рисунок Г.1 – Карта, содержащая значения нормализованного индекса вегетации растений озимой пшеницы в пределах обследованного опытного поля 6/3

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д (справочное)

### Карта-схема закладки производственного опыта на дифференцированных подкормках озимой пшеницы

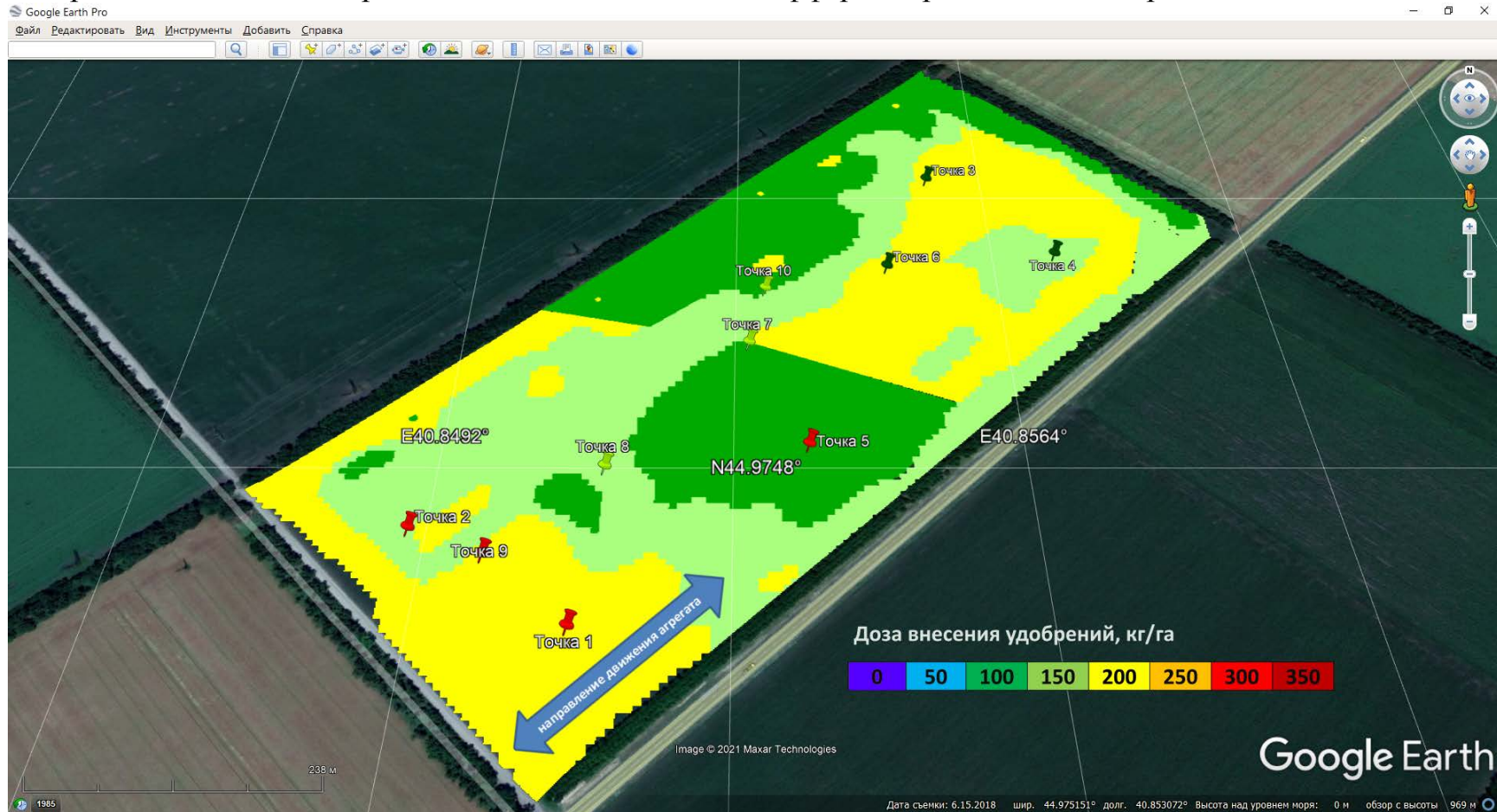


Рисунок Д.1 – Карта-схема закладки производственного опыта по дифференцированному внесению аммиачной селитры на подкормках озимой пшеницы согласно карты-задания, разработанной для поля 6/3

ПРИЛОЖЕНИЕ Е  
(справочное)

Карта урожайности озимой пшеницы на опытном поле 6/3

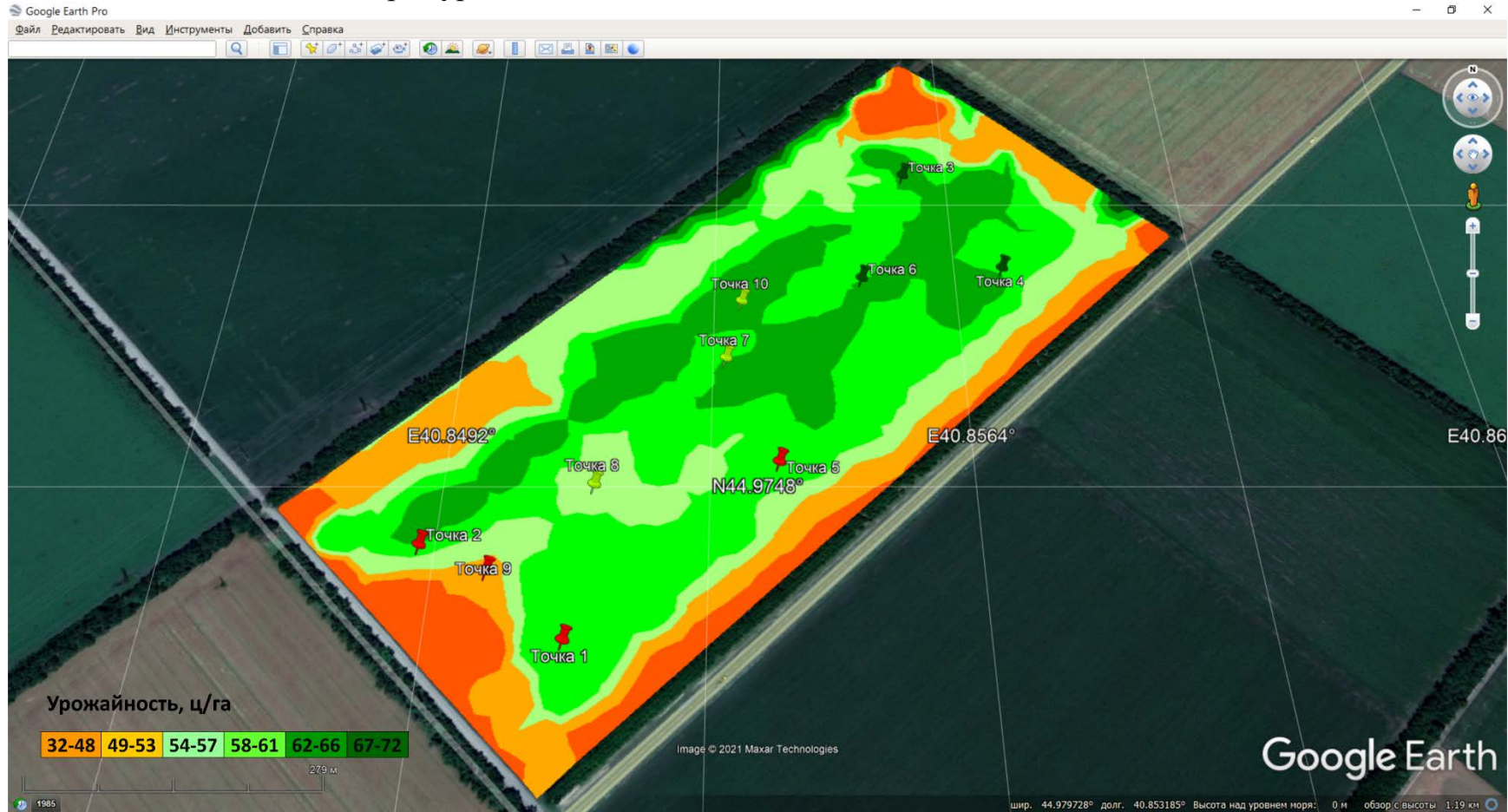


Рисунок Б.1 – Карта урожайности опытного поля 6/3 в 2021 г., 40,78 га (культура – озимая пшеница)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**  
(справочное)

Традиционная технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы

Таблица Ж.1 – Традиционная технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы по высокостебельным предшественникам (площадь – 1000 га, урожайность – 57,8 ц/га)

Основные технологические операции	Состав агрегата	Агросрок	Производительность за 1 ч сменного времени, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га	Исходные требования на выполнение технологических операций
1 Дискование растительных остатков в два следа (закрытие влаги)	Versatile 2375+Challenger 1435	25.08-25.09	6,4	5,6	Глубина обработки 5-10 см, заделка пожнивных остатков – 80 %, сохранение стерни на поверхности – 20 %, содержание комков от 1 до 5 см должно быть не менее 90 %
	К-744Р1+БДТМ-6×3		5,0	7,5	
	John Deere 8420+Catros 6001-2		4,3	6,3	
2 Внесение минеральных удобрений (основное)	МТЗ-82+Bogballe-M2	26.09-30.09	15,7	0,3	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммофос – 150 кг/га, калий хлористый – 150 кг/га
	Беларус-1025.2+Bogballe-M2		17,1	0,4	
3 Дискование с заделкой минеральных удобрений	Versatile 2375+Challenger 1435	26.09-30.09	6,4	5,6	Глубина обработки – 8-12 см
	К-744Р1+БДТМ-6×3		5,0	7,5	
4 Предпосевная подготовка почвы	К-744Р1+КДК-9	01.10-10.10	6,4	6,5	Глубина обработки – 5-6 см
5 Посев с внесением удобрений	John Deere 8420+John Deere 455	01.10-10.10	5,7	3,4	Глубина посева – 4-6 см, аммофос – 50 кг/га, норма высева – 5 млн. шт./га
	Беларус-1025.2+С-7,2-ПМЗ		5,0	2,5	
6 Прикатывание посевов	МТЗ-82+КЗК-6	01.10-10.10	6,4	2,1	Содержание комков размером не более 5 см
	МТЗ-82+КЗК-9,2		7,8	1,7	
7 Первая подкормка озимых (поверхностная)	МТЗ-82+Bogballe-M2	05.03-15.03	21,4	0,4	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммиачная селитра – 150 кг/га
Беларус-1025.2+Bogballe-M2	22,8		0,5		

Окончание таблицы Ж.1

Основные технологические операции	Состав агрегата	Агросрок	Производительность за 1 ч сменного времени, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га	Исходные требования на выполнение технологических операций
8 Вторая подкормка озимых (поверхностная)	MT3-82+Bogballe-M2 Беларус-1025.2+Bogballe-M2	25.03-05.04	21,4 22,8	0,4 0,5	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммиачная селитра – 150 кг/га
9 Борьба с сорняками и болезнями	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	06.04-10.04	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, Ланцелот – 33 г/га, Карате Зеон МКС – 0,2 л/га, Инпут КЭ – 0,8 л/га, Гумат Калия – 0,5 л/га
10 Внекорневая подкормка	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	15.05-19.05	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, мочевины – 20 кг/га, Гумат Калия – 0,5 л/га
11 Борьба с вредителями и болезнями	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	05.06-09.06	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, мочевины – 10 кг/га, Гумат Калия – 0,5 л/га, Амистар Экстра СК – 0,9 л/га, Эсперо КС – 0,1 л/га
12 Прямое комбайнирование озимой пшеницы с измельчением соломы	RSM-142 «ACROS-550»+ Power Stream 700 КЗС-1218 «GS-12»+ЖЗК-7-7	05.07-15.07	2,0 2,1	12,5 12,5	Суммарные потери зерна – не более 2 %, дробление – не более 2 %, содержание сорной примеси – не более 2 %, высота среза – не более 10-15 см. Измельченная солома должна содержать частицы длиной менее 12 см в количестве не менее 85 %. Измельченная солома разбрасывается по полю равномерно, не менее чем на ширину захвата жатки комбайна, степень неравномерности распределения соломы по поверхности поля – не более 20 %. Влажность зерна – не более 14,5 %

**ПРИЛОЖЕНИЕ И**  
(справочное)

Новая технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы с элементами координатного земледелия

Таблица И.1 – Новая технологическая карта возделывания и уборки озимой пшеницы по высокостебельным предшественникам с элементами координатного земледелия (площадь – 1000 га, урожайность – 65,6 ц/га)

Основные технологические операции	Состав агрегата	Агросрок	Производительность за 1 ч сменного времени, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га	Исходные требования на выполнение технологических операций
1 Дискование растительных остатков в два следа (закрытие влаги)	Versatile 2375+Challenger 1435 К-744Р1+БДТМ-6×3 John Deere 8420+Catros 6001-2	25.08-25.09	6,4	5,6	Глубина обработки 5-10 см, заделка пожнивных остатков – 80 %, сохранение стерни на поверхности – 20 %, содержание комков от 1 до 5 см должно быть не менее 90 %
			5,0	7,5	
			4,3	6,3	
2 Внесение минеральных удобрений (основное)	МТЗ-82+Vogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» Беларус-1025.2+Vogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор»	26.09-30.09	15,7	0,3	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммофос – 145 кг/га, калий хлористый – 145 кг/га
			17,1	0,4	
3 Дискование с заделкой минеральных удобрений	Versatile 2375+Challenger 1435 К-744Р1+БДТМ-6×3	26.09-30.09	6,4 5,0	5,6 7,5	Глубина обработки – 8-12 см
4 Предпосевная подготовка почвы	К-744Р1+КДК-9	01.10-10.10	6,4	6,5	Глубина обработки – 5-6 см
5 Посев с внесением удобрений	John Deere 8420+John Deere 455 Беларус-1025.2+С-7,2-ПМЗ	01.10-10.10	5,7	3,4	Глубина посева – 4-6 см, аммофос – 50 кг/га, норма высева – 5 млн. шт./га
			5,0	2,5	
6 Прикатывание посевов	МТЗ-82+КЗК-6 МТЗ-82+КЗК-9,2	01.10-10.10	6,4	2,1	Содержание комков размером не более 5 см
			7,8	1,7	

Окончание таблицы И.1

Основные технологические операции	Состав агрегата	Агросрок	Производительность за 1 ч сменного времени, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га	Исходные требования на выполнение технологических операций
7 Первая подкормка озимых (поверхностная)	MT3-82+Bogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» Беларус-1025.2+Bogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор»	05.03-15.03	21,4 22,8	0,4 0,5	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммиачная селитра – 150 кг/га
8 Вторая подкормка озимых (поверхностная)	MT3-82+Bogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор» Беларус-1025.2+Bogballe-M2+ «Агронавигатор-АСУР-Дозатор»	25.03-05.04	21,4 22,8	0,4 0,5	Ширина внесения – 24 м, отклонение от установленной дозы не более 10 %, неравномерность распределения не более 25 %, аммиачная селитра – 117 кг/га
9 Борьба с сорняками и болезнями	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	06.04-10.04	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, Ланцелот – 33 г/га, Карате Зеон МКС – 0,2 л/га, Инпут КЭ – 0,8 л/га, Гумат Калия – 0,5 л/га
10 Внекорневая подкормка	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	15.05-19.05	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, мочевины – 20 кг/га, Гумат Калия – 0,5 л/га
11 Борьба с вредителями и болезнями	MT3-82+ОПГ-3000/24 МК	05.06-09.06	11,7	0,4	Расход рабочей жидкости – 200 л/га, мочевины – 10 кг/га, Гумат Калия – 0,5 л/га, Амистар Экстра СК – 0,9 л/га, Эсперо КС – 0,1 л/га
12 Прямое комбайнирование озимой пшеницы с измельчением соломы	RSM-142 «ACROS-550»+ Power Stream 700+ Trimble Yield Monitoring КЗС-1218 «GS-12»+ЖЗК-7-7+ Trimble Yield Monitoring	05.07-15.07	2,0 2,1	12,5 12,5	Суммарные потери зерна – не более 2 %, дробление – не более 2 %, содержание сорной примеси – не более 2 %, высота среза – не более 10-15 см. Измельченная солома должна содержать частицы длиной менее 12 см в количестве не менее 85 %. Измельченная солома разбрасывается по полю равномерно, не менее чем на ширину захвата жатки комбайна, степень неравномерности распределения соломы по поверхности поля – не более 20 %. Влажность зерна – не более 14,5 %