

16-10992

БЮДЖЕТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

Якушев В. В.

**ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

16-10994

Санкт-Петербург

2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

---

Якушев В. В.

**ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Санкт-Петербург  
2016

УДК 631.58;551.5

ББК 41.4

Я 49

Я 49 **Якушев В.В.**

Точное земледелие: теория и практика. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.

*Печатается по решению Ученого совета ФГБНУ АФИ  
(протокол № 5 от 23.06.2016.)*

*Государственное задание ФГБНУ АФИ: «2. Развить теоретические основы и разработать автоматизированную систему управления производственным процессом посевов на базе построения и адаптации математических моделей, использования новых информационных технологий и технических средств прецизионного земледелия»*

Рецензенты:

- Иванов Д.А. член-корр. РАН, доктор с.-х. наук, профессор,  
ФГБНУ «Всероссийский НИИ мелиорированных земель»
- Воронков В.Н. доктор техн. наук, профессор,  
генеральный директор ЗАО «Инженерный центр “Геомир”»
- Попов А.И. доктор с.-х. наук, профессор,  
Санкт-Петербургский государственный университет

В монографии рассмотрен широкий круг теоретических и практических вопросов, связанных с разработкой и спецификой применения прецизионных технологий в производстве растениеводческой продукции. Большое внимание уделено методам и средствам информационного обеспечения современного земледелия, в том числе процедурам получения и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли. Подробно освещены принципы организации точного земледелия, математические и программно-аппаратные средства формирования и использования баз данных и знаний в процессе обоснования, выработки и реализации технологических решений в полевых условиях. Для решения одной из принципиальных задач точного земледелия – обоснования целесообразности дифференциации технологических воздействий с учетом пространственного внутривополевого варьирования показателей, определяющих судьбу урожая, – предложена оригинальная методология геостатистики и ее главный инструментарий – вариограммный анализ.

Значительное внимание в работе уделено механизмам совершенствования и развития информационно-технологической базы прецизионного производства растениеводческой продукции. К числу перспективных направлений отнесены методология применения вероятностно-стохастического моделирования на примере решения ряда задач, актуальных для точного земледелия, организация проведения прецизионных экспериментов в почвенно-климатических условиях конкретного хозяйства, более широкое использование и развитие гражданской инфраструктурной системы ГЛОНАСС и оптимизация процесса обмена информационными ресурсами с помощью сети Интернет.

ISBN 978-5-905200-31-1

© ФГБНУ АФИ  
© Якушев В.В.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	7
Введение .....	11
<b>ЧАСТЬ 1. Теория проектирования агроландшафтов и ее роль в обосновании и развитии точного земледелия .....</b>	<b>16</b>
<b>Глава 1. Зарождение земледелия как науки и его современное состояние .....</b>	<b>16</b>
1.1. История развития российского земледелия .....	16
1.2. Этапы научного становления земледелия .....	19
1.3. Специфика современного земледелия и состояние отрасли .....	21
<b>Глава 2. Адаптивно-ландшафтное земледелие как новый этап научного обоснования производства растениеводческой продукции .....</b>	<b>24</b>
2.1. Концепция и методологические основы .....	24
2.2. Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия .....	27
2.3. Классификация адаптивно-ландшафтных систем земледелия, проблемы и перспективы их реализации .....	36
<b>Глава 3. О роли адаптивно-ландшафтного подхода в дифференциации и развитии современного управляемого земледелия .....</b>	<b>40</b>
3.1. Истоки мотивации перехода к дифференциации земледелия на количественной основе .....	40
3.2. Опыт программирования урожаев как первый этап реализации управляемого земледелия в России .....	41
3.3. Объективные мировые тенденции перехода к управляемому производству растениеводческой продукции .....	46
<b>ЧАСТЬ 2. Научно-технические и информационно-технологические основы точного земледелия .....</b>	<b>57</b>
<b>Глава 4. Точное земледелие как перспективное направление производства растениеводческой продукции .....</b>	<b>57</b>
4.1. Концепция точного земледелия .....	59
4.2. Основные подсистемы точного земледелия .....	62
4.2.1. Навигационная подсистема .....	62
4.2.2. Подсистема информационного обеспечения .....	65
4.2.3. Подсистема технологического обеспечения .....	67
<b>Глава 5. Научно-техническая платформа построения и реализации информационной системы поддержки прецизионного производства растениеводческой продукции .....</b>	<b>70</b>
5.1. Методологические и концептуальные основы .....	70
5.2. Принципы построения, структура и функциональные возможности информационной системы .....	75
5.2.1. Развитие идеи «электронного агронома» А. Ф. Иоффе .....	75
5.2.2. Структура и функциональные возможности информационной системы .....	78
5.2.3. Геоинформационный модуль (ГИС АФИ) .....	87
5.3. База агротехнологических знаний и управление ее формированием .....	105
5.3.1. Проект технологии производства растениеводческой продукции .....	107
5.3.2. Специфические проблемы описания агрономических знаний. Новые возможности .....	113
5.3.3. База моделей .....	126

<b>Глава 6. Геостатистический инструментарий для обоснования технологии точного земледелия</b> .....	129
6.1. Геостатистика и краткие сведения по геостатистическому анализу.....	132
6.1.1. Геостатистика. Основные понятия.....	132
6.1.2. Геостатистическая модель пространственной неоднородности сельскохозяйственного поля.....	134
6.1.3. Общие сведения о вариограммной функции.....	137
6.1.4. Расчет и аналитическая аппроксимация эмпирических вариограмм.....	141
6.2. Геостатистика в задачах оценки неоднородности сельскохозяйственных полей.....	146
6.2.1. Вариограммный анализ неоднородности агрохимических и агрофизических показателей.....	146
6.2.2. Вариограммный анализ характеристики почв и урожайности в исследованиях по точному земледелию.....	149
6.3. Оценка перспективности сельскохозяйственных земель для точного земледелия.....	155
6.3.1. Постановка задачи.....	155
6.3.2. Методика оценки.....	156
6.3.3. Пример расчета.....	159
6.4. Заключительные положения.....	161
<b>Глава 7. Формирование информационно-технологической базы по результатам почвенного обследования и электронной карты урожайности</b> .....	163
7.1. Выделение однородных технологических зон по результатам почвенного обследования.....	166
7.1.1. Мобильный автоматизированный комплекс для полевого обследования.....	166
7.1.2. Методика и представление результатов агрохимического обследования.....	170
7.2. Выделение однородных зон продуктивности по данным электронной карты урожайности сельскохозяйственного поля.....	181
7.2.1. Электронная карта урожайности.....	181
7.2.2. Автоматизированная система стохастического выделения однородных зон по урожайности.....	185
<b>Глава 8. Формирование информационно-технологической базы точного земледелия по оптическим характеристикам посевов</b> .....	191
8.1. Краткие сведения о средствах и методах дистанционного получения информации и ее использовании в точном земледелии.....	193
8.2. Теоретические представления и экспериментальные оценки физиологического состояния посевов по оптическим критериям в зависимости от интенсивности агротехнологии.....	201
8.3. Диагностика азотного питания растений и информационное обеспечение реализации агроприемов точного внесения удобрений по оптическим характеристикам посевов.....	208
8.3.1. Радиоуправляемый самолет. Получение и первичная обработка цифровых изображений посевов.....	209
8.3.1.1. Технические характеристики самолета.....	210
8.3.1.2. Основные этапы выполнения летно-съёмочных работ.....	211
8.3.1.3. Аппаратура для аэрофотосъемки и ее калибровка.....	213
8.3.1.4. Привязка аэрофотоснимков к глобальной системе позиционирования.....	216
8.3.1.5. Тестовые площадки и дешифровка аэрофотоснимков.....	218
8.3.2. Количественная оценка обеспеченности растений азотом и выделение однородных технологических зон по колориметрическим характеристикам посевов.....	223
8.3.2.1. Колориметрический метод диагностики обеспеченности растений азотом.....	223

8.3.2.2. Методика количественной оценки потребности растений в азотном питании .....	227
8.3.2.3. Методика измерения колориметрических характеристик по цифровому изображению посева .....	230
8.3.2.4. Выделение по колориметрическим характеристикам посева однородных технологических зон на сельскохозяйственном поле для прецизионного внесения азотных удобрений .....	231

### **ЧАСТЬ 3. Опыт разработки, практика применения и перспективы развития информационного обеспечения точного земледелия .....**

<b>Глава 9. Формирование, апробация, сравнительные испытания прецизионных агроприемов в полевых условиях и региональный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения .....</b>	<b>235</b>
9.1. Прецизионные технологии внесения минеральных удобрений и гербицидов .....	236
9.1.1. Специфические особенности формирования и реализации технологических решений в точном земледелии .....	238
9.1.2. Информационно-техническая база построения и реализации прецизионных технологий .....	241
9.1.2.1. Базовая (типовая) прецизионная технология внесения минеральных удобрений .....	243
9.1.2.2. Прецизионная технология внесения минеральных удобрений на основе данных агрохимслужбы .....	244
9.1.2.3. Прецизионная технология внесения минеральных удобрений на основании карт урожайности .....	245
9.1.2.4. Прецизионная технология азотных подкормок .....	252
9.1.2.5. Прецизионная технология внесения гербицидов по результатам аэромониторинга .....	255
9.1.3. Технологические карты производственной проверки прецизионных технологий .....	259
9.1.3.1. Технологическая карта опытно-производственной проверки базовой (типовой) прецизионной технологии внесения минеральных удобрений .....	259
9.1.3.2. Технологическая карта опытно-производственной проверки прецизионной технологии внесения минеральных удобрений на основе данных агрохимслужбы .....	259
9.1.3.3. Технологическая карта опытно-производственной проверки прецизионной технологии внесения минеральных удобрений на основании карт урожайности .....	260
9.1.3.4. Технологическая карта опытно-производственной проверки прецизионной технологии азотных подкормок .....	260
9.1.3.5. Технологическая карта опытно-производственной проверки прецизионной технологии внесения гербицидов по результатам аэромониторинга .....	260
9.2. Сравнительные испытания агротехнологий .....	261
9.2.1. Методика .....	261
9.2.2. Результаты .....	263
9.3. Региональный мониторинг плодородия земель .....	268
9.3.1. Нормативная база .....	269
9.3.2. Научно-методическое обеспечение .....	270
9.3.3. Мониторинг плодородия земель на основе сети стационарных агрополигонов в Ленинградской области .....	272

<b>Глава 10. Перспективы совершенствования и развития информационно-технологической базы точного земледелия.....</b>	<b>278</b>
10.1. Концепция и методология.....	278
10.2. Прецизионные эксперименты в совершенствовании нормативной базы применения удобрений.....	286
10.2.1. Прецизионные эксперименты.....	286
10.2.2. Геоинформационное обеспечение планирования и проведения прецизионных агрохимических экспериментов.....	288
10.2.2.1. Методика.....	288
10.2.2.2. Реализация.....	289
10.3. Вероятностно-статистическое моделирование в точном земледелии.....	296
10.3.1. Метод количественного анализа рисков неурожая от изменения доли орошаемых земель.....	298
10.3.2. Научные основы оптимального выбора сортов сельскохозяйственной культуры.....	302
10.3.2.1. Метод оптимального выбора сортов для заданных почвенно-климатических условий.....	303
10.3.2.2. Алгоритм выбора сортов по результатам предварительных сортоиспытаний.....	308
10.3.3. Определение оптимальных доз мелиорантов при известковании почв.....	311
10.3.4. Определение оптимального интервала времени проведения агротехнического мероприятия.....	320
10.3.5. Применение вероятностно-статистического моделирования для определения возможного уровня урожая.....	325
10.4. Использование и развитие объектов гражданской инфраструктуры системы ГЛОНАСС.....	330
10.5. Использование сетевых технологий и предоставление сервисов.....	334
<b>Заключение.....</b>	<b>339</b>
<b>Словарь терминов, определений и сокращений, используемых в монографии.....</b>	<b>344</b>
<b>Список использованной литературы.....</b>	<b>347</b>