

20-3915

ДУБЛЕТ

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

А.Ю. Измайлов, А.А. Артюшин,  
Г.И. Личман, И.Г. Смирнов, А.Н. Марченко

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ХИМИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА:  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**МОНОГРАФИЯ**

20-03916

**2020**



**Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ  
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)**

**ИЗМАЙЛОВ А.Ю., АРТЮШИН А.А., ЛИЧМАН Г.И.,  
СМИРНОВ И.Г., МАРЧЕНКО А.Н.**

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ХИМИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Монография

Москва 2020

**Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Марченко А.Н. Цифровые технологии химизации сельского хозяйства: теория и практика. М.: ФНАЦ ВИМ, 2020. 180 с.**

*Под общей редакцией д.т.н., проф. Артюшина А.А.*

В монографии изложены научные основы технологии и представлены технические средства дифференцированного применения удобрений и химических средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней в системе точного цифрового земледелия. Такое применение химикатов с помощью технических средств с высокоадаптивными дозирующими и распределяющими рабочими органами, в соответствии с электронными картами, с использованием систем глобального позиционирования ГЛОНАСС или *GPS* позволяет управлять производственными процессами. Рассмотрены методы оценки пестроты параметров плодородия, методологические подходы к анализу пространственно распределенных данных. Особое внимание уделено разбивке поля на ареалы, зоны управления. Дан обзор программного обеспечения геостатистики и анализа пространственно распределенных данных. Приведена номенклатура цифровых показателей, получаемых при помощи беспилотных летательных аппаратов, оснащенных техническим зрением. Рассмотрены модели и алгоритмы расчета оптимальных доз внесения химических средств с учетом внутривариационной изменчивости параметров плодородия поля. Приведены данные об экономической эффективности дифференцированного применения химических средств, изложены перспективы развития системы точного цифрового земледелия.

Книга предназначена для научных сотрудников, руководителей и специалистов органов управления АПК различных уровней, предприятий сельского хозяйства и сельхозмашиностроения, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1. ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ.....	9
1.1. «Уравнительная» система земледелия и ее проблемы .....	9
1.2. Освоение способов управления производственными процессами в земледелии .....	10
1.3. Переход к адаптивной системе земледелия .....	13
1.4. Развитие системы точного земледелия .....	15
2. УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ.....	17
2.1. Неравномерное распределение элементов питания растений в почве и его влияние на урожай. ....	17
2.2. Основные блоки системы управления производственными процессами в растениеводстве .....	21
2.3. Алгоритмы управления производственными процессами в растениеводстве. .	22
3. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ .....	24
3.1. Показатели, характеризующие тип и состояние почвы .....	24
3.2. Принятие решения о дифференцированном внесении удобрений .....	25
3.3. Выбор метода оценки пестроты параметров плодородия почвы. ....	30
3.4. Основные этапы работ по отбору почвенных проб. ....	35
3.4.1. Рекогносцировочное обследование полей .....	35
3.4.2. Подготовка картографической основы .....	35
3.4.3. Выделение элементарных участков для отбора почвенных проб .....	35
3.4.4. Техническое обеспечение отбора почвенных проб .....	37
3.5. Физические ограничения на процессы отбора почвенных проб .....	40
3.5.1. Сроки и периодичность отбора почвенных проб .....	40
3.5.2. Глубина отбора почвенных проб .....	41
3.5.3. Особенности отбора проб при оперативной почвенно-растительной диагностике .....	42
3.5.4. Почвенный образец .....	43
3.6. Ячеечный метод отбора почвенных проб .....	43
3.7. Отбор проб с учетом типа почв .....	45
3.8. Отбор проб с учетом рельефа поля .....	45
3.9. Определение границ элементарных участков поля с помощью контактных датчиков .....	46
3.10. Определение границ элементарных участков поля по данным мониторинга урожайности .....	47

3.11.	Сканирование свойств почвы бесконтактным методом с использованием электроиндукции . . . . .	50
3.12.	Выделение контуров по данным дистанционного зондирования . . . . .	50
4.	<b>МАШИННОЕ ЗРЕНИЕ</b> . . . . .	59
4.1.	Способы получения информации об объекте с помощью машинного зрения . . . . .	61
4.1.1.	Цифровые фотографические методы . . . . .	61
4.1.2.	Полусферическая фотография . . . . .	61
4.1.3.	Стереозрение . . . . .	61
4.1.4.	Световые сенсоры . . . . .	62
4.1.5.	Кинетический сенсор . . . . .	63
4.1.6.	Сенсоры <i>ЛИДАР</i> . . . . .	64
4.1.7.	Термография . . . . .	65
4.1.8.	Спектроскопия в видимом диапазоне . . . . .	66
4.1.9.	Система электронного носа . . . . .	67
4.1.10.	Основные характеристики сенсоров для оценки параметров плодовых деревьев при дистанционном зондировании . . . . .	68
5.	<b>МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАННЫХ</b> . . . . .	70
6.	<b>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОСТАТИСТИКИ И АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАННЫХ</b> . . . . .	74
7.	<b>ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗБИВКИ ПОЛЯ НА АРЕАЛЫ</b> . . . . .	78
7.1.	Основные этапы разбивки поля на зоны управления . . . . .	79
7.2.	Статистический и геостатистический анализ данных . . . . .	80
7.3.	Описание программного обеспечения <i>Management Zone Analyst</i> . . . . .	81
7.4.	Разбивка поля на квазиоднородные участки с учетом особенностей выполнения технологического процесса . . . . .	87
8.	<b>МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ</b> . . . . .	90
8.1.	Виды экономико-математических моделей . . . . .	90
8.2.	Обоснование требований к качеству внесения удобрений . . . . .	92
9.	<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПОД ПРОГРАММИРУЕМУЮ УРОЖАЙНОСТЬ</b> . . . . .	97
9.1.	Обоснование математической модели оптимизации технологии дифференцированного применения удобрений . . . . .	97

9.2.	Математическая модель определения оптимальной дозы при дифференцированном внесении удобрений . . . . .	102
9.3.	Алгоритм расчета оптимальных доз дифференцированного внесения удобрений . . . . .	106
9.3.1.	Выбор алгоритма оптимизации . . . . .	106
9.3.2.	Алгоритм расчета оптимальных доз . . . . .	108
9.4.	Примеры реализации экономико-математических моделей и алгоритма расчета оптимальных доз . . . . .	109
9.4.1.	Представление исходной информации в виде, удобном для использования при расчетах . . . . .	109
9.4.2.	Расчет оптимальных доз внесения удобрений . . . . .	110
9.4.3.	Определение доз при дифференцированном внесении комплексных удобрений . . . . .	112
10.	АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ УЧАСТКОВ ПОЛЯ . . . . .	116
10.1.	Алгоритм расчета прибыли в зависимости от размеров учетных площадок . . . . .	116
10.2.	Алгоритм расчет прибавки урожая в зависимости от уровня квантования поля и характера усреднения агрохимических показателей . . . . .	117
11.	ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ. . . . .	120
11.1.	Общие технологические требования и регламент применения минеральных удобрений . . . . .	120
11.2.	Требования к технологии и техническим средствам для дифференцированного внесения удобрений . . . . .	123
11.3.	Дозирующие системы для дифференцированного внесения удобрений. Общие требования . . . . .	127
11.4.	Машины с дисковыми рабочими органами . . . . .	130
11.5.	Многосекционные машины с управляемым высевом удобрений . . . . .	133
11.6.	Машины для локального внесения стартовой и основной доз удобрений . . . . .	135
11.7.	Машина для поверхностного дробного внесения азотных удобрений . . . . .	138
11.8.	Машина для дифференцированного внесения жидких минеральных удобрений и пестицидов . . . . .	139
11.9.	Садовый опрыскиватель-гербицидник с отклоняемыми выносными секциями . . . . .	140
11.10.	Садовый высококлиренсный опрыскиватель-гербицидник . . . . .	141

12.	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ .....	146
12.1.	Требования к системе параллельного вождения агрегатов для внесения химикатов .....	146
12.2.	Требования к переходному процессу машин для внесения химикатов на границах элементарных участков поля .....	150
12.3.	Обоснование места размещения <i>GPS</i> -приемника на агрегатах для внесения химикатов .....	157
13.	СТРАТЕГИЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ПРИМЕНЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ .....	162
14.	ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ВНЕДРЕНИЯ В СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ЦИФРОВОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ .....	164
14.1.	Социально-экономические причины .....	165
14.2.	Агрономические причины .....	165
14.3.	Проблемы при отборе почвенных проб .....	166
14.4.	Мониторинг посевов .....	166
14.5.	Недостаток агрономической информации для принятия управленческих решений .....	166
14.6.	Механико-технологические причины .....	167
14.7.	Машины для дифференцированного внесения удобрений .....	167
14.8.	Датчики .....	167
14.9.	Системы позиционирования .....	168
14.10.	Математическое обеспечение .....	168
14.11.	Возможные сценарии введения в сельскохозяйственный оборот технологий точного земледелия .....	169
14.12.	Рекомендации по дифференцированному внесению удобрений .....	171
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	172