Якушев, Вячеслав Викторович. Информационно-технологические основы прецизионного производства растениеводческой продукции : диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук : 06.01.03 / Якушев Вячеслав Викторович; [Место защиты: Агрофиз. науч.-исслед. ин-т].- Санкт-Петербург, 2013.- 367 с.: ил. РГБ ОД, 71 15-6/36

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ**

На правах рукописи

0520145Q275

**Якушев Вячеслав Викторович**

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ПРЕЦИЗИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА  
РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук  
Специальность 06.01.03 - агрофизика

Научный консультант:

Буре Владимир Мансурович, доктор технических наук, профессор

Санкт- Петербург  
2013 год

**Введение 5**

**ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ 14**

1. **Специфика современного земледелия и состояние отрасли 14**
2. **О роли адаптивно-ландшафтного подхода в развитии**

**современного земледелия 19**

1. ***Методологические основы* *19***
2. ***Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия***

***(АЛСЗ)* *23***

1. ***Классификация АЛСЗ, проблемы и перспективы их реализации.*  *37***
2. **Точное земледелие - перспективное направление производства**

**растениеводческой продукции 42**

1. ***Концепция и основные подсистемы точного земледелия* *44***
2. ***Зарождение и развитие точного земледелия в России.* 57**
3. ***Эффективность применения, проблемы внедрения и развития***

***точного земледелия* *66***

**ГЛАВА 2. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ**

**ПРОДУКЦИИ 80**

1. **Методологические и концептуальные основы 80**
2. **Принципы построения, структура и функциональные возможности**

**информационной системы 88**

1. ***Эволюция развития идеиА.Ф. Иоффе «электронный агроном».***  ***88***
2. ***Структура и функциональные возможности информационной***

***системы* *93***

* 1. **Модуль ГИС (ГИС АФИ) 102**

1. **База аротехнологических знаний и управление её формированием**

**123**

1. ***Специфические проблемы описания агротехнологических***

***знаний. Новые возможности.* *127***

1. ***Компоненты описания и обработки агротехнологий (АТ)* 134**
2. ***База моделей* *142***

**ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ПРЕЦИЗИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ 146**

1. **Вариограммный анализ пространственной неоднородности агроландшафтов для обоснования дифференциации технологических**

**воздействий на сельскохозяйственном поле 149**

1. [***Вариограммный анализ. Основные понятия* *149***](#bookmark8)
2. ***Трехкомпонентная модель изменчивости пространственной***

***неоднородности сельскохозяйственного поля и ее количественные оценки.* *154***

1. ***Оценка перспективности применения точного земледелия для***

***конкретной территории* *166***

* 1. **Выделение однородных технологических зон на сельскохозяйственном поле по результатам почвенного обследования, данным электронной карты урожайности и оптическим характеристикам посева 175**
     1. ***Мобильный автоматизированный комплекс для полевого***

***обследования* *175***

* + 1. ***Методика и представление результатов агрохимического***

***обследования* *180***

* + 1. ***Выделение однородных зон продуктивности по данным***

***электронной карты урожайности сельскохозяйственного поля* *191***

* + - 1. [***Электронная карта урожайности.* 191**](#bookmark11)
      2. ***Автоматизированная система стохастического выделения***

***однородных зон по урожайности.* 193**

* + 1. ***Теоретические и технологические основы прецизионного***

***применения средств химизации по оптическим характеристикам посевов.* *201***

* + - 1. ***Оптические критерии оценки физиологического состояния***

***посевов* 201**

* + - 1. ***Диагностика азотного питания растений и выделение***

***однородных технологических зон по колориметрическим характеристикам цифровых изображений посевов* 210**

**ГЛАВА 4. ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И АПРОБАЦИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ АГРОПРИЕМОВ ПРОИЗВОДСТВА РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ 228**

1. **Прецизионные технологии внесения минеральных удобрений и гербицидов 230**
2. ***Специфические особенности формирования и реализации***

***технологических решений в точном земледелии.* *232***

1. ***Информационно-техническая база построения и реализации***

***прецизионных технологий.* *237***

1. ***Базовая (типовая) прецизионная технология внесения***

***минеральных удобрений* 240**

1. ***Прецизионная технология внесения минеральных удобрений***

***на основании данных агрохимслужбы* 241**

1. ***Прецизионная технология внесения минеральных удобрений***

***на основании карт урожайности* 243**

1. [***Прецизионная технология азотных подкормок* 252**](#bookmark25)
2. ***Прецизионная технология внесения гербицидов по***

***результатам аэромониторинга* 254**

1. [***Технологические карты производственной проверки прецизионных технологий* *259***](#bookmark27)
2. ***Технологическая карта опытно-производственной проверки***

***базовой (типовой) прецизионной технологии внесения минеральных удобрений*** 259

1. ***Технологическая карта опытно-производственной проверки***

***прецизионной технологии внесения минеральных удобрений на основании данных агрохимслужбы*** 260

1. ***Технологическая карта опытно-производственной проверки***

[***прецизионной технологии внесения минеральных удобрений на основании карт урожайности*** 261](#bookmark24)

1. ***Технологическая карта опытно-производственной проверки***

***прецизионной технологии азотных подкормок*** 261

1. ***Технологическая карта опытно-производственной проверки***

[***прецизионной технологии внесения гербицидов по результатам аэромониторинга*** 262](#bookmark26)

***.2.* Результаты сравнительных испытаний агротехнологий 262**

****

****

1. [***Методика.* *262***](#bookmark29)
2. ***Результаты* *265***

**.3. Региональный мониторинг плодородия земель 269**

1. [***Нормативная база* *270***](#bookmark30)
2. [***Научно-методическое обеспечение.* *273***](#bookmark31)
3. ***Мониторинг плодородия земель на основе сети стационарных***

***агрополигонов в Ленинградской области.* *276***

**ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ТОЧНОГО**

**ЗЕМЛЕДЕЛИЯ** 282

**5Л. Прецизионные эксперименты в совершенствовании нормативной базы применения удобрений 294**

1. **Вероятностно-статистическое моделирование в точном**

**земледелии 302**

1. ***Метод количественного анализа рисков неурожаев от***

***изменения доли орошаемых земель* *304***

1. ***Метод оптимального выбора сортов для заданных почвенно­климатических условий.* *309***
2. ***Определение оптимальных доз мелиорантов при известковании***

***почв* *314***

1. **Использование сетевых технологий и предоставление сервисов. 322**

[**Заключение** 326](#bookmark34)

**Список литературы** 335

[**Приложение 1** 362](#bookmark4)

**Приложение 2 365**

**Введение**

В России, несмотря на попытки реализации приоритетного национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса» и Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008- 2012 годы, утверждённой Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2007 года №446, господствует экстенсивное земледелие, существующее за счёт эксплуатации естественного плодородия почв. Урожайность зерновых в стране составляет в среднем около 20 ц/га, в то время как в мире она держится на отметке 32 ц/га, а в некоторых государствах получают по 70-80 ц/га. Следствием ненадлежащей культуры земледелия наряду с низкой эффективностью производства растениеводческой продукции, особенно зерна, является беспрецедентное истощение почв, её водная и ветровая эрозии, другие неблагоприятные экологические факторы.

Неудачно проводимые аграрные реформы в России в значительной мере подорвали экономические и социальные основы не только агропромышленного, но и всего природопользовательского комплекса: уменьшились объёмы производства, снизилась конкурентноспособность как отрасли в целом, так и отдельных хозяйств — субъектов продовольственного рынка. Это в свою очередь привело к оттоку деятельного населения из производственной сферы, деградации сельской инфраструктуры, снижению рентабельности сельскохозяйственного производства. Постоянно возрастающий диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию и используемые ресурсы привели к вымыванию финансовых средств из отрасли и лишению её источников собственных инвестиций. В сельском хозяйстве прекратилось расширенное воспроизводство, ухудшилось использование пахотных земель, значительно возросла социальная напряжённость.

Надежды на преобразование сельского хозяйства в России связываются в настоящее время с выполнением Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы, утверждённой Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. №717 (далее - Государственная программа). Она базируется на положениях федерального закона «О развитии сельского хозяйства», Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации до 2020 года, а также ряде других федеральных и ведомственных целевых программ по проблемам развития агропромышленного комплекса страны.

Государственная программа предусматривает комплексное развитие всех отраслей и сфер деятельности АПК с учётом вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО). Главной целью этого документа является обеспечение продовольственной независимости страны в заданных Доктриной параметрах, воспроизводство и повышение эффективности использования земельных и других ресурсов, а также экологизация производства.

Вместе с тем, неадаптивность применяемых в сельском хозяйстве технологий производства растениеводческой продукции по использованию ресурсов, базирующихся на «уравнительных» принципах без учёта пространственной и временной изменчивости факторов среды, непосредственно влияющих на продуктивность агроэкосистем, мешает в решении острейших задач: устойчивого роста производства,

самодостаточности, низкозатратности, ресурсе- и энергоэкономичности, природоохранности. Эти проблемы лежат в основе экологического кризиса не только отечественного, но и мирового сельскохозяйственного производства.

Одними из наиболее эффективных методов решения вопроса дальнейшего развития отрасли, ее координации с другими сферами природопользовательского комплекса является использование прецизионных сельскохозяйственных технологий (так называемого точного земледелия) как комплексного средства управления природно-техногенными системами. Сформировавшаяся в 90-х годах прошлого века на западе эта новая методология является принципиально иным направлением развития современной аграрной науки, интегрирующим в себе новейшие достижения не только традиционных областей агрономической науки, но и смежных с ней наук. Появление этого направления было обусловлено научно- техническим прогрессом в развитии микроэлектроники, информационной и телекоммуникационной техники, созданием глобальных систем позиционирования и геоинформационных систем, изобретением новых рабочих органов сельскохозяйственных машин, способных осуществлять дифференцированное (в пределах поля) управление технологическими операциями.

Как показывает практика, внедрение этой технологии обещает революционные преобразования в сельском хозяйстве, так как значительно повышает эффективность производства, улучшая производительность, рентабельность, качество продукции, охрану окружающей среды, что в конечном итоге поднимает не только культуру производства, но и способствует развитию сельских районов в целом.

В настоящее время признано, что точное земледелие является технологией ХХТ века. Вся предыдущая история ведения сельского хозяйства свидетельствует о том, что проблема получения растениеводческой продукции решалась в отрыве от интересов окружающего ландшафта. Такое положение приводит, как правило, к деградации земель, загрязнению грунтовых вод агрохимикатами и неоправданному расходу невозобновляемых ресурсов. Альтернативой такой бездумной эксплуатации природы и является точное земледелие. Применение прецизионных технологий производства растениеводческой продукции путём научно­обоснованного дифференцированного управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур с использованием всех доступных средств получения и обработки измерительной информации в реальном времени в сочетании с современной роботизированной техникой позволит избежать негативных воздействий на растения и среду их обитания. Данный подход поможет максимально быстрее приблизить отечественное сельское хозяйство к тому уровню, на котором уже можно конкурировать с зарубежными производителями, используя инструменты ВТО. Тем более, что сравнение прецизионных технологий растениеводческой продукции с другими высокомеханизированными технологиями показывает, что они позволяют получать не только более высокую урожайность и лучшее качество продукции, но и существенно снизить расход минеральных удобрений и средств защиты растений. Тем самым они позволяют уменьшить или полностью исключить вредное влияние сельхозпроизводства на окружающую среду и получать при этом более экологически чистую продукцию.

В то же время, анализ выполненных исследований в этой области показал, что информационно-технологическая база зарубежных разработок не подходит к почвенно-климатическим условиям нашей страны, и результаты в целом не могут быть использованы в практике российского земледелия. Если на первом этапе развития работ по точному земледелию основное внимание уделялось во всём мире разработке машин и орудий, позволяющих в пределах поля дифференцированно осуществлять основные технологические агроприёмы, то в настоящее время вектор исследований переместился в область математического, информационного и программного наполнения прецизионных систем с целью наиболее эффективного использования средств химизации, поливной воды и других ресурсов.

В этой связи, проведенные исследования весьма актуальны, а представленные в диссертации результаты были направлены на разработку

отечественной научно-технической платформы информационно­

технической базы прецизионного производства растениеводческой продукции, а также на формирование и реализацию агроприёмов в производственных условиях Ленинградской области по системе точного земледелия. Диссертация выполнялась в рамках проводимых Агрофизическим институтом исследований по базовым научно-техническим программам «Разработать методы и приёмы управления продукционным процессом посевов в условиях пространственно-временной неоднородности среды обитания растений с целью повышения адаптивности агротехнологий к условиям окружающей среды и обеспечения высокой продуктивности агроценозов» (2006 - 2010 гг.) и «Усовершенствовать теоретические основы и разработать информационно-технологическую базу прецизионного управления продуктивностью посевов в естественных и регулируемых условиях среды с использованием новых приборов, оборудования, программно-аппаратных средств» (2011 - 2013 гг.). Кроме того, эти исследования выполнялись по двум грантам РФФИ «Разработка программ по оптимизации технологий точного земледелия на базе динамичных моделей и экспертных систем» (2007 - 2008 гг.: 07-05-13507 офи-ц) и «Разработка информационного обеспечения реализации приёмов точного земледелия на основе оптических критериев оценки состояния агрофитоценозов» (2009 - 2010гг.:09-04-13827 офи-ц).

**Цель диссертационной работы** заключалась в разработке методологических и инструментальных основ компьютерной поддержки процесса формирования прецизионных агроприемов производства растениеводческой продукции и создании информационно-технологической базы их реализации в полевых условиях Ленинградской области. Механизм достижения цели базируется на исследованиях по усовершенствованию теоретических структур и схем формирования проблемно-ориентированных баз данных и знаний, синтезе на их основе прецизионных технологических приемов производства растениеводческой продукции, создании информационно-технологической базы с помощью современных методов и мобильных комплексов с навигационным и геоинформационным обеспечением, разработке алгоритмических и программных средств по выделению границ внутриполевых однородных зон для выполнения агроприемов в системе точного земледелия.

Для достижения указанной цели в процессе работы над диссертацией было необходимо поэтапно выполнить **следующие задачи:**

* разработать концепцию и структуру научно-технической платформы по синтезированию и реализации агроприемов производства растениеводческой продукции в системе точного земледелия;

изучить перспективность применения геостатистики и вариограммного анализа в количественной оценке пространственной неоднородности агроландшафтов и на данной основе разработать методику обоснования целесообразности дифференцированных технологических воздействий на заданном сельскохозяйственном поле;

* разработать и создать алгоритмы и инструментальное обеспечение по функционированию гибридной модели описания, формализации и обработки разнородных данных, декларативных и процедурных агротехнических знаний;
* усовершенствовать и апробировать в полевых условиях методику выделения однородных технологических зон на сельскохозяйственном поле по результатам его агрохимического обследования;
* разработать и апробировать в полевых условиях методику и программное обеспечение по выделению однородных зон продуктивности на основании обработки электронных карт урожайности;
* разработать теоретические и технологические основы и апробировать в полевых условиях методику выделения однородных зон по колориметрическим характеристикам цифровых изображений посевов;
* разработать пять прецизионных технологий внесения минеральных удобрений и гербицидов, создать информационно-техническую базу их реализации в системе точного земледелия и провести производственную проверку в условиях Ленинградской области;
* разработать научно-методические основы проведения и обеспечить техническое сопровождение многолетних (2006-2012 гг.) полевых исследований по сравнительной оценке эффективности агротехнологий различной интенсивности, включая технологию точного земледелия по дифференцированному внесению удобрений;

обеспечить применение физико-технических и программно­аппаратных средств точного земледелия в мониторинговых исследованиях плодородных земель в сети стационарных агрополигонов, созданных в Ленинградской области;

* усовершенствовать концепцию формирования информационно­технологической базы прецизионного производства растениеводческой продукции и предложить пути её реализации.

Основные результаты выполненных исследований изложены в пяти главах диссертации. В первой главе рассмотрены специфика современного земледелия и состояние отрасли, показана прогрессивная роль адаптивно­ландшафтного подхода и информационных технологий точного земледелия в развитии отечественного производства растениеводческой продукции. Особый акцент сделан на том, что точное земледелие следует рассматривать как систему сельского хозяйства XXI века, поскольку она обеспечивает наилучшее равновесие между степенью использования традиционных знаний и новых информационно-управляющих технологий. Также в первой главе сформированы цель и задачи исследований.

Во второй главе изложены концептуальные и инструментальные основы построения научно-технической платформы по синтезированию и реализации прецизиционных технологий производства сельскохозяйственной продукции. Рассмотрены специфика, механизмы описания и системной обработки разнородных данных, а также соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение.

В третьей главе предложено использовать вариограммный анализ для решения одного из принципиальных вопросов точного земледелия - обоснования целесообразности дифференциальных технологических воздействий с учётом пространственного варьирования условий на сельскохозяйственном поле, и получены необходимые расчётные формулы и номограммы. Разработаны различные подходы по выделению внутриполевых единиц для формирования информационно-технологической базы

реализации агроприёмов в системе точного земледелия.

В четвёртой главе представлены результаты разработки и апробации пяти прецизионных технологий внесения минеральных удобрений и обработки посевов гербицидами. Описаны специфика и информационно­техническая база формирования и реализации выше описанных мероприятий. Рассмотрены методика и результаты сравнительных испытаний технологических приёмов различной интенсивности, а также опыт создания стационарной сети агрополигонов и научно-методической основы организации регионального мониторинга плодородия земель с целью оптимизации агротехнологий.

Пятая глава посвящена путям совершенствования информационно­технологической базы точного земледелия. На примере формирования нормативной базы применения удобрений показано, что одним из самых перспективных направлений её развития являются прецизионные эксперименты проводимые в конкретных хозяйствах. Предложено использовать вероятностно-статистические методы поддержки принятия решений при стохастической неопределённости и изменчивости климатических условий, характерных для современного земледелия.

Полученные в ходе выполнения работы результаты исследований постоянно рассматривались и были одобрены на заседаниях Учёного Совета Агрофизического института, а также докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях, форумах и собраниях: на IX Международной научно-практической конференции «Автоматизация и

информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве» (Углич, 2006г.); на III Международной научно-практической конференции «Информационные технологии, системы и приборы в АПК» (Новосибирск, 2006г.); на Международной конференции «Современная агрофизика - высоким агротехнологиям» (Санкт-Петербург, 2007г.); на Международной школе молодых учёных и специалистов (Санкт-Петербург, 2007г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Инновации, землеустройство и ресурсосберегающие технологии в земледелии» (Курск, 2007г.); на Международной научной конференции «Пространственно- временная организация почвенного покро-ва: теоретические и прикладные аспекты» (Санкт-Петербург, 2007г.); на Международной научно- практической конференции, посвященной 125-летию книги В.В. Докучаева «Русский чернозём» (Санкт-Петербург, 2008г.); на Международной научно- практической конференции «Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия» (Курск, 2008г.); на X Международной научно-практической конференции (Углич, 2008г.); на Зерновом форуме (Санкт-Петербург, 2008г.); на юбилейной 25-й Всероссийской научно-производственной конференции

«Сельскохозяйственные кадры и продовольственная безопасность России» (Санкт-Петербург, 2009г.); на Всероссийской конференции с международным участием «Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления» (памяти академика РАСХН Е.И. Ермакова) (Санкт-Петербург, 2009г.); на Международной научно-практической конференции «Методы изучения продукционного процесса растений и фитоценозов» (Нальчик, 2009 г.); на XI Медународной научно-практической конференции «Автоматизация и информаци-онное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве» (Углич, 2010г.); на Всероссийской конференции с международным участием «Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы» (Санкт-

Петербург, 2010г.); на IV Международной конференции-выставке «Экологические системы, приборы и чистые технологии» (Москва, 2010 г.); на Всероссийской конференции «Инновационные технологии - залог успешного развития растениеводства» (Москва, 2010 г.); на Международной научно-технической конференции «Внедрение информационных систем, использующих спутниковую навигацию, в технологиях аграрного комплекса. Опыт и перспективы» (Гомель, 2010 г.); на производственном семинаре «Внедрение научных достижений и передовых технологий в производство сельскохозяйственных предприятий «Ленплодовощ» (Санкт-Петербург, 2010г.); на общем годичном отчётном собрании СЗРНЦ Россельхозакадемии (Санкт-Петербург, 2011г.); на семинаре «Перспективы внедрения технологий точного земледелия в АПК РФ» в рамках XXI Международной агропромышленной выставки-ярмарки АГРОРУСЬ-2012 (Санкт-Петербург, 2012 г.); на научно-производственном семинаре «Технологии и технические средства точного земледелия (практические аспекты внедрения)» (Санкт- Петербург, 2013 г.).

Полученные в процессе исследований результаты по созданию отечественного программно-аппаратного базиса отмечены дипломом Президиума Россельхозакадемии за лучшую научную разработку 2007 года по точному земледелию (Приложение 1), включались в инновационный фонд достижений Агрофизического института и демонстрировались на международных специализированных выставках «Золотая осень» и «Агрорусь», где были отмечены золотыми и серебряными медалями (Приложение 2).

**Заключение**

Производство растениеводческой продукции является одним из сложнейших производств материальных ценностей на Земле, так как предполагает работу в цехе под открытым небом. Здесь так же, как и во всех отраслях народного хозяйства, идёт постепенный поиск и совершенствование технологий, позволяющих обеспечить ресурсосбережение и экологически обоснованную интенсивность производства. Стратегия такого поиска во всём мире направлена на разработку и создание, а также на максимально полное применение физико-технических и программно-аппаратных средств информационного обеспечения земледелия, включая новые методы, приборы, программные средства, мобильные комплексы по оценке состояния полей и посевов и автоматизированной поддержки процесса выработки дифференцированных приёмов управления урожайностью с техническим обеспечением и адресной реализации в поле с помощью Глобальной системы позиционирования.

В этой связи, основным направлением исследований диссертанта были разработки теоретических и инструментальных основ формирования с помощью ЭВМ прецизионных агроприёмов ресурсосберегающего и экологически безопасного производства растениеводческой продукции и их апробации в почвенно-климатических условиях Ленинградской области. Для их выполнения в поле с помощью разработанных методов и созданных мобильных комплексов и программных средств была сформирована необходимая информационно-технологическая база.

В результате выполненных автором исследований предложены научно­обоснованные методические и технические решения по синтезированию и реализации предложенных агроприёмов устойчивого производства растениеводческой продукции. Основные результаты диссертации заключаются в нижеследующем.

1. Разработана методология построения и создана первая очередь информационной системы нового поколения для технологической

поддержки прецизионного производства растениеводческой продукции в конкретных хозяйствах. Система наделена следующими основными функциональными возможностями:

* ведение базы разнородных данных, собираемых из различных источников современными методами, включая мобильные контактные и дистанционные комплексы, о предметной области, характеризующей возделывание сельскохозяйственных культур, среду их обитания, а также почвенно-климатический и производственно-экономический потенциалы конкретного хозяйства; визуализация пространственно-атрибутивной информации с привязкой к глобальным координатам, поддержка различных методов её предварительной обработки, а также импорт/экспорт основных форматов данных с помощью встроенного в систему ГИС-инструментария;

наполнение, систематизация и хранение в базе знаний в формализованном виде декларативных (описательных) знаний с интерфейсом включения процедурных модулей (программно оформленных математических моделей), выполняющих дополнительные или сервисные функции при генерации агротехнологий или оценки технических уровней технологического воздействия непосредственно в поле;

* генерирование отчётов и технологических программ по каждому полю в соответствии с планом производства растениеводческой продукции на предстоящий вегетационный период (уровень планирования) и формирование электронных карт-заданий на осуществление дифференцированных прецизионных воздействий, включая расчёт доз внесения удобрений, мелиорантов, средств защиты растений от сорняков, вредителей и болезней (оперативный уровень);
* сервисное обеспечение процесса формирования информационно­технологической основы для реализации агроприёмов в полевых условиях на базе технических средств и оборудования точного земледелия. Соответствующая функция осуществляется путём поддержки интерфейсов приёма/передачи информации (экспорт карт-заданий, импорт карт

урожайности и т.п.) между стационарными и полевыми (бортовыми) компьютерами мобильных комплексов и сельскохозяйственных машин, используя различные протоколы обмена.

1. Предложена трёхкомпонентная теоретическая модель оценки статистической структуры пространственно-неоднородного агроландшафта путём выявления соотношения между макро-, мезо- и микрочастотными характеристиками изменчивости и их роли в этом процессе на заданной сельскохозяйственной территории.
2. Разработаны методика и необходимые расчётные формулы использования вариограммного анализа для оценки сельскохозяйственных территории с точки зрения перспективности применения на этих землях прецизионного производства растениеводческой продукции. Предложенная методика позволяет ответить на вопрос, насколько велик выигрыш, который теоретически может быть получен за счёт перехода от дифференциации технологических воздействий от поля к полю к внутриполевой дифференциации агротехнологии. Показано, что эффективность, а следовательно и целесообразность применения прецизионной технологии в каждом конкретном случае зависит от соотношения мезо- и микрокомпонент, характеризующих пространственную изменчивость управляемого фактора, а также от физических размеров поля.
3. Разработана методология формирования информационно­технологической базы прецизионного производства растениеводческой продукции с помощью современных мобильных комплексов с навигационным и геоинформационным обеспечением и соответствующие методики с программным обеспечением по разделению реально неоднородного сельскохозяйственного поля на условно однородные участки, в пределах которых оправдано применение недифференцированных агротехнологий; научно обоснованы, апробированы и доведены до широкого практического применения следующие методики:

выделение однородных технологических зон на заданном сельскохозяйственном поле по результатам почвенного обследования;

* выделение однородных зон по интегральной продуктивности посевов на основе обработки электронных карт урожайности, получаемых автоматически при уборке;
* диагностика и выявление степени обеспеченности азотным питанием зерновых культур по оптическим показателям физиологического состояния посевов и выделение однородных зон на сельскохозяйственном поле по количественным значениям этих показателей на тестовых площадках.

1. Разработаны пять прецизионных технологий внесения минеральных удобрений и гербицидов. Сформирована информационно-технологическая и техническая база их реализации в режимах off-line и on-line и проведены опытно-производственные испытания в полевых условиях Ленинградской области. Экономический эффект от применения прецизионных технологий колебался от 842.9 до 1465.0 руб/га.
2. Впервые в России на биополигоне АФИ организовано проведение уникальных многолетних опытов по сравнительной оценке эффективности агротехнологий различной интенсивности. Полученные в ходе исследований в 2006-2012 гг. результаты подтвердили мировые данные о высокой эффективности технологий прецизионного производства растениеводческой продукции: повышение окупаемости удобрений и средств защиты растений в
3. - 1,7 раза; увеличение урожайности минимум на 25-30%; снижение агрохимической нагрузки на окружающую среду на 35-60%; повышение качества продукции.
4. На базе разработанной в Агрофизическом институте методологии создана сеть стационарных агрополигонов и организован мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Соответствующие наблюдения проведены с применением физико-технических и программно­аппаратных средств и методов точного земледелия, а полученная

информация используется для оптимизации агротехнологий, включая технологии точного земледелия.

1. Предложены механизмы совершенствования информационно­технологической базы прецизионного производства растениеводческой продукции. К числу перспективных механизмов совершенствования информационно-технологической базы точного земледелия можно отнести следующие направления исследований:

* организация прецизионных экспериментов на основе обоснованной методики их проведения в почвенно-климатических условиях конкретного хозяйства для формирования нормативной базы применения удобрений;
* применение методологии вероятностно-стохастического

моделирования на основе предложенных алгоритмов решения ряда задач, актуальных для прецизи-онного земледелия (количественный анализ рисков неурожаев от изменения доли орошаемых земель, оптимальный выбор сортов и доз мелиорантов при известкова-нии почв);

* оптимизация процесса обмена информационными ресурсами с помощью сети Интернет.

В целом считаю, что цели диссертационной работы по методологическому и инструментальному обеспечению компьютерной поддержки процесса формирования и реализации прецизионных агроприёмов производства растениеводческой продукции достигнуты.

*Научная новизна* выполненных исследований заключается в следующем:

- на основе теоретических обобщений и при использовании опыта применения информационных систем в агрономии разработана методология построения и впервые создана и апробирована в опытно-производственных условиях компьютерная система поддержки прецизионного производства растениеводческой продукции;

мобильные комплексы с навигационным и геоинформационным обеспечением, программно-реализованные методики выделения чётких

границ условно однородных участков внутри заданного сельскохозяйственного поля позволили впервые создать информационно­технологическую базу по реализации агроприемов в системе точного земледелия и продемонстрировать их эффективность в сравнении с обычными технологиями различной степени интенсивности;

* впервые региональные мониторинговые наблюдения организованы с помощью современных технических средств точного земледелия, что позволило существенно улучшить информационное обеспечение сельскохозяйственного производства путём оперативного получения полезной и более полной и точной информации о состоянии посевов и среды их произрастания;
* впервые разработана и предложена к использованию методика проведения прецизионных экспериментов с применением информационных технологий точного земледелия и современных методов обработки результатов для совершенствования нормативной базы применения удобрений непосредственно в почвенно-климатических условиях конкретного хозяйства.

*Практическая значимость* диссертационной работы заключается в том, что полученные в ходе исследований экспериментальные результаты убедительно свидетельствуют о целесообразности перехода на более точные технологии в земледелии. Точное земледелие открывает перед производителями новые возможности, особенно в плане обеспечения условий для получения большего количества качественной растительной продукции при существенной экономии ресурсов. Предложенные физико- технические и программно-аппаратные средства формирования информационно-технологической базы прецизионного производства растениеводческой продукции и компьютерная система в значительной степени окажут положительное влияние на темпы ускорения внедрения точного земледелия в России, а также на практическое освоение данных технологий на уровне конкретного хозяйства как для сбора и обработки

разнородной информации о посевах, почве, погоде, так и для реализации дифференцированных агротехнических воздействий на полях.

Разработанные в диссертации алгоритмы и методики оценки внутриполевой неоднородности и степени ее количественной изменчивости могут быть использованы в научно-исследовательских учреждениях страны, где проводятся исследования по точному земледелию. Так, например, разработанное и опубликованное в 2010 г. практическое руководство «Теоретические и методические основы выделения однородных технологических зон для дифференцированного применения средств химизации по оптическим характеристикам посева» содержит подробное описание дистанционных методов диагностики посевов и практические советы по использованию полученной информации в управлении азотным питанием по технологии точного земледелия. Поскольку подобные исследования в нашей стране находятся только в начальной фазе из-за, прежде всего, высокой стоимости оборудования для проведения такого рода исследований, его невысокой разрешающей способности, а также довольно сложной схемы его настройки, ценность подобного опыта вполне очевидна.

Проведенные исследования чрезвычайно востребованы и актуальны для аграрных учебных заведений РФ, так как демонстрируют современный подход в применении новейших информационно-инструментальных средств и технологий в производстве растениеводческой продукции. Для подготовки соответствующих специалистов и исследователей в области точного земледелия будет полезна опубликованная в 2008 г. монография «Информационное обеспечение точного земледелия».

Отсутствие надлежащего образования и необходимых знаний у фермеров является существенным препятствием для широкого применения информационной технологии точного земледелия. Создаваемые в настоящее время компьютерные системы поддержки принятия решений в значительной степени окажут положительное влияние на скорость внедрения ТЗ, но без специальной подготовки не обойтись. Нужны консультанты высокой

квалификации в области ТЗ, которые бы объясняли, давали агрономические рекомендации, проводили бы и анализировали текущие эксперименты с привязкой к сети государственных служб мониторинга почвенных и климатических условий и, в конечном итоге, способствовали бы использованию потенциала точного земледелия.

Сельскохозяйственным производителям необходима подготовка, главным образом, в области основных концептуальных понятий и сущности методологии ТЗ, технического обеспечения и интерфейсов оборудования. В настоящее время чрезвычайно узок круг исследователей и дипломированных специалистов в этой области. По этой причине нужна специальная государственная программа подготовки специалистов и исследователей в области точного земледелия. Структура и цели реализации такой программы должны обеспечивать развитие будущих исследований по ТЗ и непрерывную дифференцированную подготовку специалистов и руководителей, способных на практике применять достижения новой технологии. Для достижения такой цели принципы реализации государственной образовательной программы должны предусматривать следующее:

практическое освоение технологии точного земледелия на уровне конкретного хозяйства как для сбора информации о посевах, так и по реализации дифференцированных воздействий;

повсеместное увеличение информированности о технологиях точного земледелия посредством демонстраций их возможностей на сельскохозяйственных полях и через средства массовой информации в сравнении текущей ситуации в сельском хозяйстве с той, которая станет возможной с применением технологии ТЗ;

организацию различной срочности программ обучения по ТЗ для производителей с демонстрацией конкретных полей (хозяйств), где это уже внедрено, и оказание им помощи в освоении информационных технологий ТЗ;

организацию и целенаправленную подготовку программистов по обучению, внедрению и развитию технологии точного земледелия в специализированных сельскохозяйственных учебных заведениях и НИИ всех уровней;

расширение и углубление взаимосвязи между исследователями, агрономами и руководителями хозяйств, производителями сельскохозяйственных машин, оборудования и программно-аппаратных средств для ускоренного освоения новинок в конкретных условиях и повышения уровня информационного обмена в различных секторах, обеспечивающих, в конечном итоге, развитие ТЗ в целом.