



*«Недалеко то время, когда решающую роль в управлении сложнейшей отраслью человеческой деятельности будет играть электронный агроном, способный учесть множество сложнейших зависимостей в сельском хозяйстве и предложит единственно правильное решение по оперативному управлению сельскохозяйственным предприятием»*

*А. Ф. Иоффе (1880–1960 гг.), академик*

Природные ресурсы являются основой жизни человечества. Глобальное сельскохозяйственное развитие в большей степени ориентировано на рост производительности, чем на рациональное использование ресурсов, а также обеспечение продовольственной и пищевой безопасности. Однако в настоящее время целостный подход наиболее предпочтителен, поскольку в его рамках можно решать проблемы, связанные со сложностью пищевой цепи.

Население планеты постоянно растет (рисунок 1). Если в 2008 г. оно составляло 6,5 млрд чел., в 2011 – 7 млрд, то, согласно прогнозу, к 2050 г. оно достигнет 9 млрд, к 2100 г. – 10 млрд чел. Численность населения увеличивается преимущественно в странах Африки и Азии (рисунок 2).

На основании прогнозов сельскохозяйственное производство к 2050 г. должно увеличиться на 70 %.

Земля – главное национальное достояние и богатство российского народа. Она является источником жизни, особенно той части населения, которая занята сельскохозяйственным производством, а это 14 % от всего занятого населения России или 12 млн чел. в мире (США – 3 %, Канада – 4 %, Китай – 60 %). Россия, на долю которой приходится более 10 % площади мировых

сельскохозяйственных угодий, остается самым большим резервом плодородной земли. Для контроля каждого гектара таких масштабных территорий активно внедряются космические технологии.

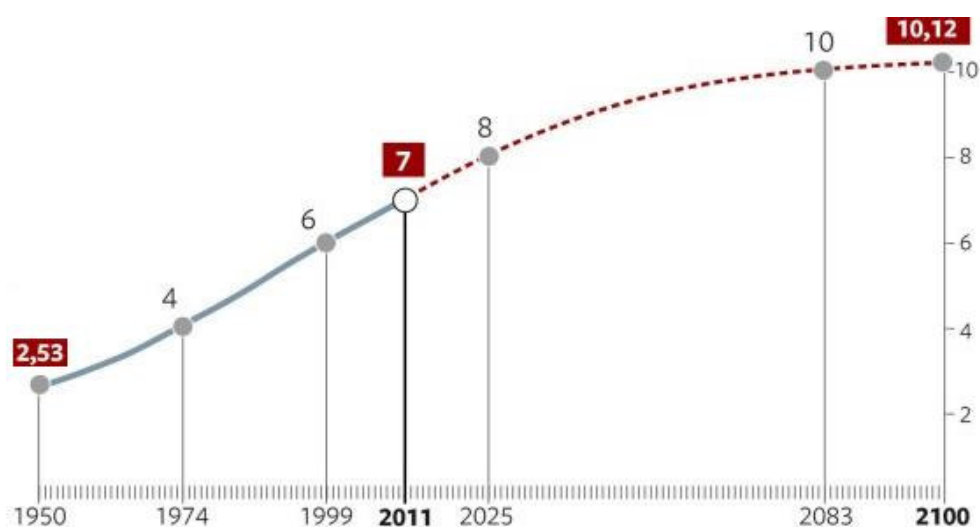


Рисунок 1 – Динамика роста населения в мире (млрд чел.)

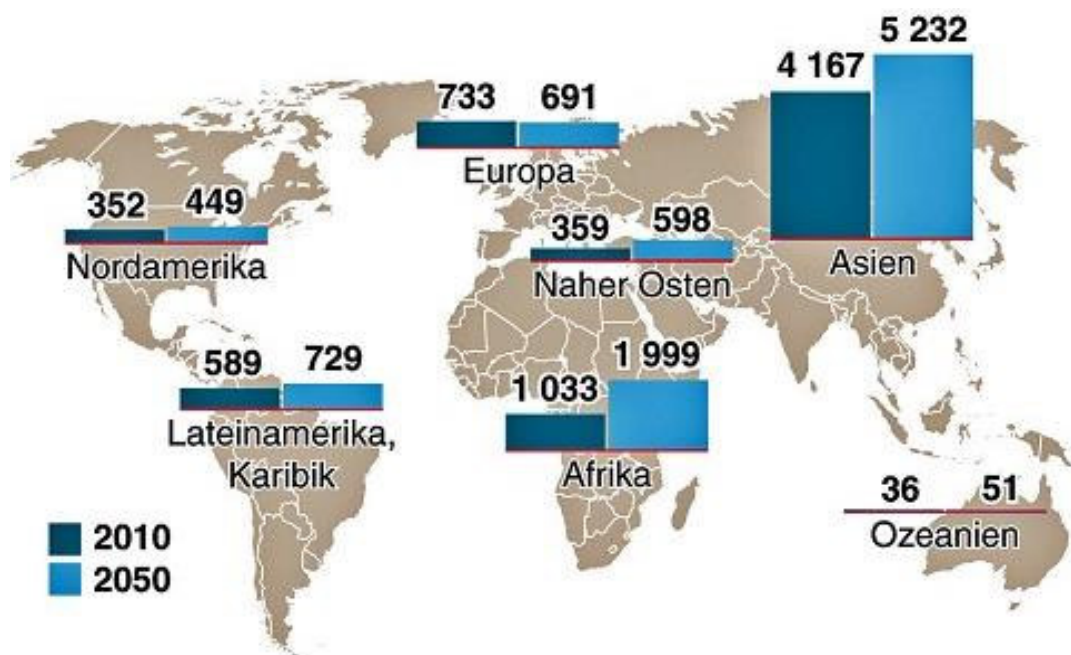


Рисунок 2 – Увеличение численности населения по материкам (млрд чел.)

## **Общие понятия**

В последние годы в сельском хозяйстве появился новый термин «точное земледелие» или «точное фермерство» («Precision Farming»). Название «точное сельское хозяйство» пришло к нам также из иностранной терминологии – от английского слова «precision agriculture».

Один из основоположников методологии точного земледелия доктор П. Роберт в 1994 г. определил ее как *сельскохозяйственную систему менеджмента, основанную на информации и технологиях для идентификации, анализа и управления с учетом дифференцированных пространственных и временных почвенных вариаций на отдельно взятом поле, для оптимизации затрат, повышения устойчивости агроценозов и экологической стабильности производства.*

**Главная цель точного земледелия** при производстве сельскохозяйственных культур – максимизация урожая, финансовых выгод и минимизация вложений капитала, воздействия на окружающую среду.

Основой научной концепции точного земледелия являются представления о существовании неоднородностей в пределах одного поля. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используют новейшие технологии, такие как системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, а также специальные программы, разработанные для агроменеджмента. Полученные данные применяют для планирования посева, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений, более точного предсказания урожайности и финансового планирования.

**Точное земледелие** – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии *глобального позиционирования (GPS)*, *географические информационные системы (GIS)*, *технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies)*, *переменного нормирования (Variable Rate Technology)*, *дистанционного зондирования земли (ДЗЗ)* и направленная на получение максимального объема качественной и наиболее дешевой сельскохозяйственной продукции с учетом норм экологической безопасности.

В зависимости от временного соотношения между сбором информации и применением соответствующих агротехнических мероприятий различают:

– **двухэтапные подходы (off-line)** или подходы на основе картирования;

– **одноэтапные подходы (on-line)** или подходы с принятием решений в реальном масштабе времени («real-time») или сенсорные подходы;

– **различные комбинации одно- и двухэтапных подходов** или сенсорный подход с поддержкой картированием (map overlay).

В последние годы точное сельское хозяйство распространилось и на динамично развивающееся животноводство – *точное животноводство (precision livestock farming)* и его отрасли – *точное молочное скотоводство (precision dairy farming)*, *точное свиноводство (precision pork farming)* и *точное птицеводство (precision poultry farming)* (рисунок 3).

Применение точного земледелия требует учета дополнительных затрат, среди которых можно выделить категории:

- затраты на сбор данных (карты, глобальные системы позиционирования (ГСП), сенсоры);
- затраты на менеджмент данных (техника и программное обеспечение);
- затраты на специальную технику для точного выполнения агроприемов и навигацию (ГСП-управляемые машины и оборудование для дифференцированной обработки почвы, посева, внесения удобрений, средств защиты растений и др.).

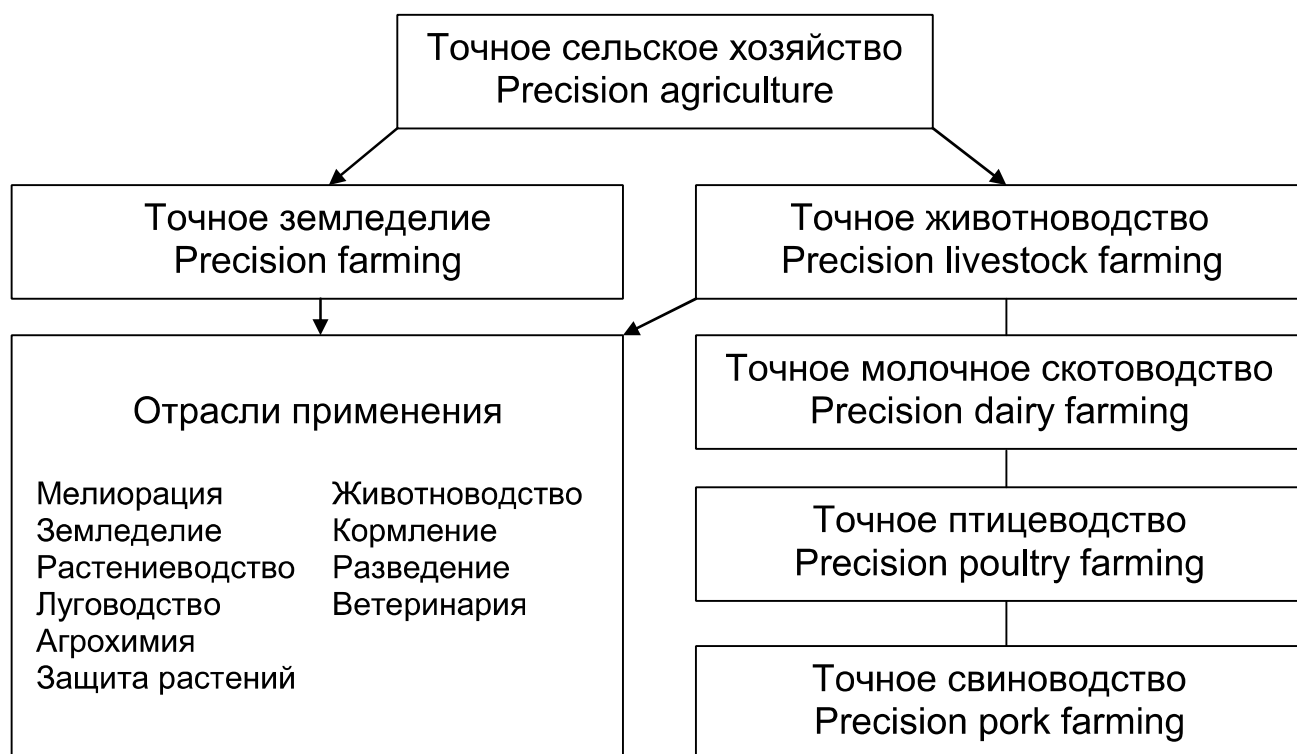


Рисунок 3 – Структура точного сельского хозяйства

Большинство современных подходов к экономическому анализу точного земледелия сводится к оценке применения техники точного земледелия и соответствующих технологий при выращивании отдельной сельскохозяйственной культуры. Вместе с тем очевидно, что общий агроэкономический эффект от интеграции технологий точного земледелия в масштабах

хозяйства с учетом синергетических эффектов будет более высоким по сравнению с использованием отдельных технологических приемов.

### ***Глобальные системы позиционирования***

***Глобальная навигационная спутниковая система*** (ГНСС) предназначена для определения пространственных координат, составляющих векторы скорости движения, поправки показаний часов и скорости изменения показаний часов потребителя в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства. Базовым методом определения координат является вычисление расстояния от GPS-приемника до нескольких спутников, расположение которых считается известным. GPS-приемник определяет свое положение в теоретической трехмерной системе координат (x-y-z), затем эти значения конвертируются в координаты широты, долготы и высоты над уровнем моря. Постоянно отслеживая свое местоположение в течение некоторого времени, GPS-приемник может рассчитать скорость и направление движения. Для обеспечения точности вычислений полученный сигнал спутника должен корректироваться с помощью дифференциальной системы позиционирования (DGPS).

С помощью дифференцированного коррекционного сигнала устраняется более 90 % погрешностей, возникающих в результате влияния атмосферы Земли на

спутниковый сигнал, а также вызванных неточностями вычисления времени и высоты орбит спутников.

Возникновение глобальной спутниковой навигации пришлось на середину 90-х гг. XX в.

Данные по истории развития механизации и автоматизации сельского хозяйства представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Краткие исторические сведения

Дата	Событие
90-е гг. XIX в.	Начало механизации сельского хозяйства
1917 г.	Henry Ford & Son Corporation производство тракторов типа Fordson
1924 г.	На тракторах появился вал отбора мощности для привода сельскохозяйственных машин
1927 г.	Применение гидравлики на тракторах для подъема орудий
1932 г.	Появление резиновых тракторных колес
1938 г.	Фирмой Massey Harris создан первый самоходный комбайн
70-е гг. XX в.	Промышленное производство электроники
90-е гг. XX в.	Начало внедрения точного земледелия (Япония, США, Европейские страны). Использование навигационной космической аппаратуры GPS для автоматического вождения техники и мониторинга урожайности
1996 г.	Фирмой John Deere предложена система позиционирования DGPS с точностью 1–2 м
2000 г.	Точность позиционирования повысилась до 30 см
2004 г.	Точность позиционирования составляла до 10 см

В исторической мировой практике использования электронной техники можно выделить три волны: *первая 1940–1980 гг.* – один компьютер обслуживался несколькими людьми; *вторая 1980–2000 гг.* – один компьютер – одним человеком; *третья – 2000 г. и будущее* – много компьютеров обслуживаются одним человеком.

В настоящее время существует множество широкозонных, региональных и локальных дифференциальных систем спутниковой навигации. В мире распространены следующие системы дифференциальных поправок: американская WAAS, европейская EGNOS, японские MSAS и QZSS, индийская GAGAN. Эти системы используют геостационарные спутники для передачи поправок всем потребителям, находящимся в зоне их покрытия (2000–5000 км<sup>2</sup>). Диапазон рабочей зоны региональных систем составляет от 400 до 2000 км<sup>2</sup>. Локальные системы имеют максимальный радиус действия 50–200 км. Сервисы DGPS условно можно разделить на два типа: наземный и спутниковый. Они в свою очередь могут быть бесплатными и платными.

На территории России основными видами спутниковых бесплатных дифференциальных поправок являются системы: EGNOS (только европейская территория России, не включая Южный федеральный округ и Поволжье), обеспечивающая точность радиуса действия 40–50 см; StarFire 1 (фирма John Deere) работает только с фирменным оборудованием и обеспечивает точность 35 см. Среди платных систем коррекции следует отметить спутниковые дифференциальные сервисы Omnistar, предусматривающие несколько видов поправок: Omnistar VBS с точностью 15–20 см, Omnistar HP/XP – 8–10 см, а также StarFire 2 – 10–18 см.

К платным наземным поправкам относят системы RTCM и RTK, позволяющие добиться точности 50 и 2–5 см соответственно. Для RTK-режима требуются два специализированных GPS-приемника и два радиомодема. Один приемник, являясь базовой станцией, передает поправку в виде сообщения подвижному приемнику. Оба приемника получают дополнительные данные со GPS-спутников по каналу L2, что способствует повышению точности. Такие поправки передаются по радиоканалу в радиусе 11 км от базовой станции и ограничиваются мощностью передатчика и рельефом местности.

Поправки, которые формируются специальным программным обеспечением, встроенным в GPS-приемник, называются внутренними. Они способствуют точности движения сигналов по параллельным рядам от 20 до 30 см. Для этих поправок характерен так называемый «дрейф» позиции (снижение точности с течением времени), который устраняется с помощью периодической коррекции базовой линии.

Наиболее масштабной системой спутникового позиционирования является американская система GPS NAVSTAR, которая обеспечивает предоставление услуг в глобальном масштабе. На момент создания она состояла из 24 непрерывно работающих спутников, расположенных в 6 орбитальных плоскостях по 4 спутника в каждой (высота орбит – 20180 км). На сегодняшний день в составе орбитальной группировки GPS в штатном режиме используют 31 навигационный спутник, один находится на этапе ввода в систему. Каждый спутник передает радиосигнал, содержащий данные о местоположении, времени сигнала, основных параметрах спутника и наземных станций слежения, объединенных в общую сеть.

В 1995 г. в России была создана *глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС*, состоящая из 24 спутников, расположенных в трех плоскостях (по восемь спутников и по одному резервному в каждой), высота орбит составила 19,4 тыс. км. В настоящее время по целевому назначению используют 23 навигационных спутника, один временно выведен в связи с техническим обслуживанием, в орбитальном резерве находятся три спутника, на этапе летных испытаний – один.

Навигационная спутниковая система ГЛОНАСС обеспечивает решение навигационных и координатно-временных задач в интересах как специальных, так и гражданских потребителей (рисунок 4).

В отличие от системы GPS, реализующей кодовое разделение сигналов, в системе ГЛОНАСС используют частотное разделение сигналов. Если в системе GPS применяют две частоты передачи сигналов, то в системе ГЛОНАСС – два диапазона частот. По аналогии с системой GPS диапазон частот сигнала ГЛОНАСС стандартной точности называют диапазоном L1, а высокой точности – L2.

*Европейская глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) Galileo* находится на этапе создания. Основными направлениями деятельности данного проекта являются разработка орбитальной группировки, ее развертывание и построение наземного сегмента. Она будет состоять из 27 навигационных спутников, расположенных в трех плоскостях на высоте около 24000 км, и совмещаться с системами GPS и ГЛОНАСС. В 2011 г. первые два спутника европейской глобальной навигационной системы были выведены на орбиту.

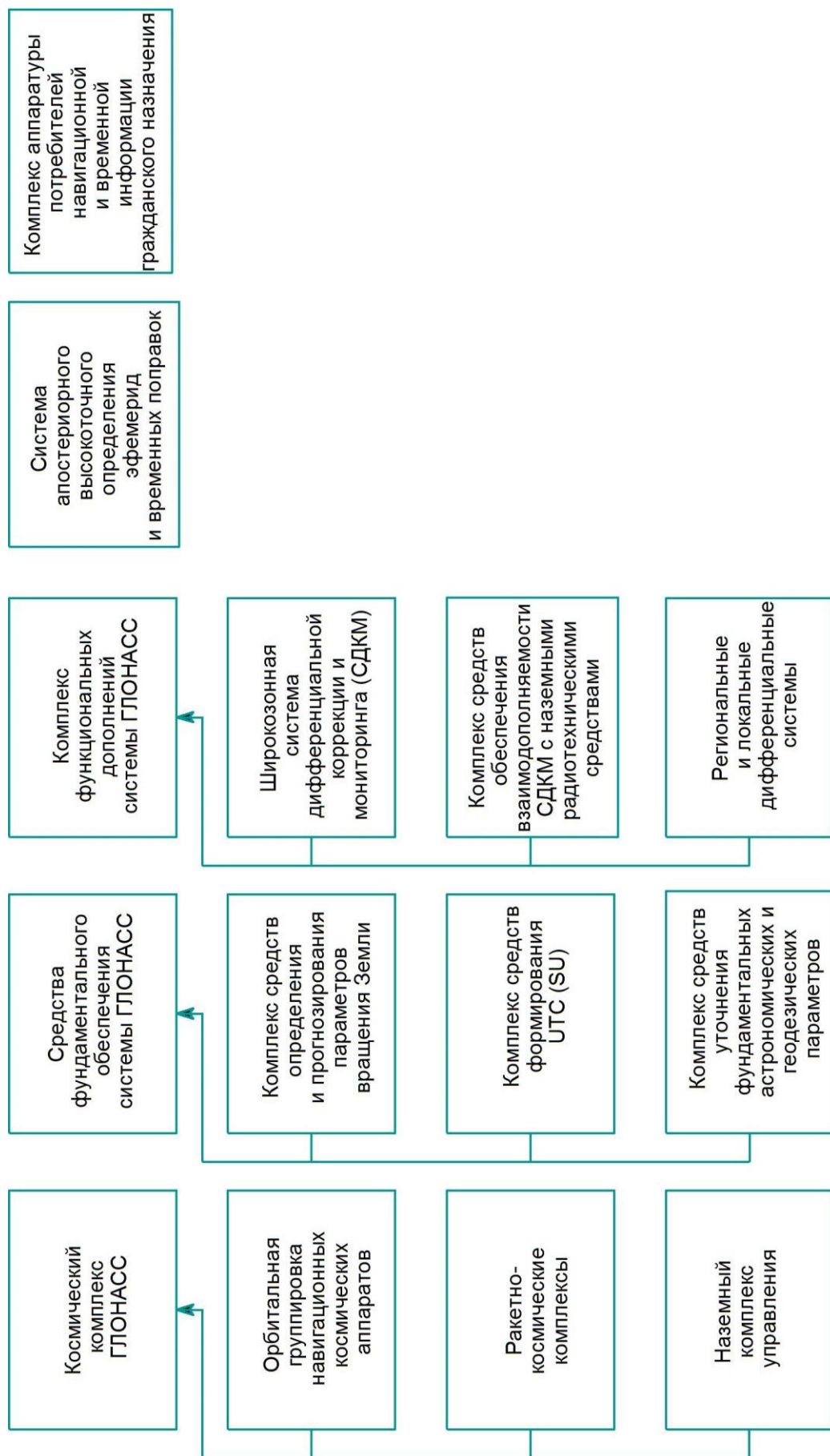


Рисунок 4 – Состав спутниковой системы

Система Galileo является ГНСС второго поколения и будет управляться частным оператором – Galileo Operating Company, находящимся под контролем Европейского агентства по ГНСС (GSA). В отличие от GPS и ГЛОНАСС, предлагающих два типа навигационных сигналов (открытый, общедоступный SPS и закрытый высокой точности PPS у GPS и сигналы СТ и ВТ – у ГЛОНАСС), система Galileo будет предоставлять пять видов навигационных сигналов. Они будут предназначены провайдерам услуг с учетом добавленной стоимости (VAS) и конечным пользователям непосредственно. Это открытый сервис (OS), коммерческий сервис (CS), сервис обеспечения безопасности человеческой жизни (SLS), сервис для государственных нужд (PRS) и сигналы системы поиска и спасения (SAR). Открытый сервис будет предоставляться бесплатно по аналогии с GPS SPS, а коммерческие SLS и PRS-сервисы – оплачиваться.

*Китайская национальная навигационная система BeiDou (COMPAS)* эксплуатируется с декабря 2012 г. и продолжает развиваться. На орбиту выведены 16 навигационных спутников, из них по назначению используются 11. В соответствии с планом развития система будет полностью развернута к 2020 г. К этому времени в ее состав должны войти 5 геостационарных спутников, 27 спутников, расположенных на средних орбитах, и 3 аппарата – на геосинхронных орбитах. Точность позиционирования системы для гражданских пользователей составит 10 м, а точность передачи сигналов – 0,2 м/с.

*Индийская региональная навигационная спутниковая система IRNSS* также находится в состоянии разработки и в отличие от глобальных систем будет ориентирована на решение более конкретных и выполнимых региональных задач. Первый спутник был запущен в 2008 г. Всего система IRNSS включает семь спутников.

---

---

*Квазизенитная спутниковая система QZSS* развивается космической промышленностью Японии с 2010 г., когда на орбиту был выведен первый спутник системы «Michibiki». До конца 2017 г. Япония планирует вывести на орбиту еще три спутника. Два аппарата будут размещены на наклонных орбитах, один спутник – на геостационарной орбите над экватором. Региональная система спутниковой навигации предназначена для мобильных приложений, предоставления услуг связи (видео, аудио и другие данные) и глобального позиционирования. Сигналы QZSS будут охватывать Японию и западную часть Тихого океана. Ожидается, что внедрение QZSS позволит повысить эффективность решения навигационных задач.

Системы спутниковой навигации развиваются в направлении повышения точности, совершенствования предоставляемого пользователям сервиса, увеличения срока службы и надежности бортовой аппаратуры спутников, достижения максимальной совместимости с другими радиотехническими системами и формирования дифференциальных подсистем.

## ***Географические информационные системы***

***Географическая информационная система*** (ГИС) обеспечивает сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. ГИС предназначены для решения научных и прикладных задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления окружающей средой и территориальной организацией общества. Они позво-

ляют создавать базы данных с пространственной информацией.

**Геоинформационные технологии** – это совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации, позволяющих реализовать функциональные возможности геоинформационных систем. Они включают: *методы дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), системы управления базами данных (СУБД), системы глобального позиционирования (GPS), методы анализа, интернет-технологии, системы картографирования, методы цифровой обработки изображений.* Геоинформационные технологии применяются для составления тематических карт хозяйства, таких как карты использования земель, уклонов территории и экспозиций склонов, климатических и гидрологических условий, типов и характеристик почв, агрохимических данных, текущего состояния растений, урожайности и др. На основе анализа данных, представленных на перечисленных картах, осуществляется оценка агроклиматических условий данного хозяйства, необходимости внесения удобрений и возможности выращивания конкретной сельскохозяйственной культуры.

Обязательными модулями геоинформационной системы (ГИС) являются: графические и тематические базы данных; преобразование систем координат и трансформация картографических проекций; система управления, анализа и моделирования, система вывода и предоставления данных; взаимодействие с пользователем (рисунок 5).

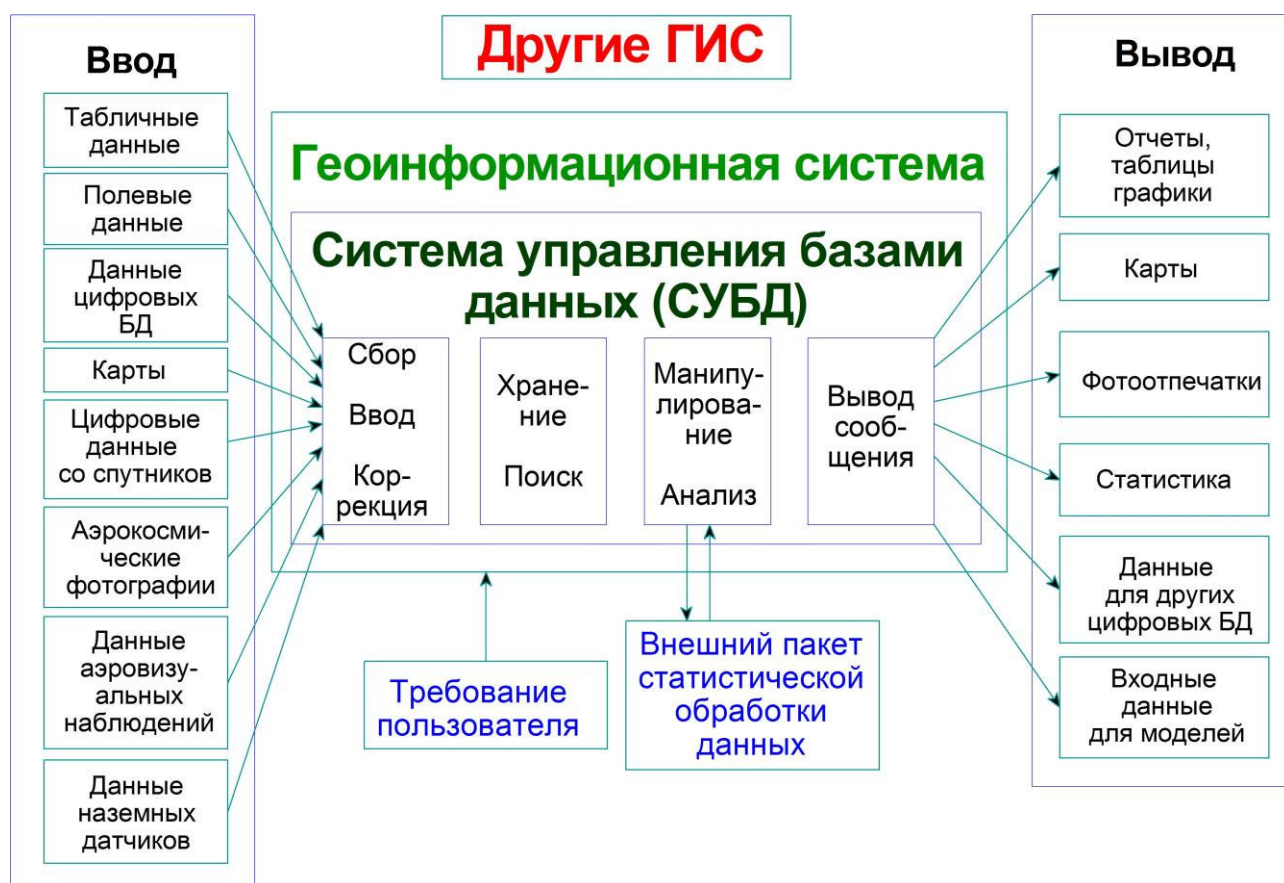


Рисунок 5 – Общая схема функционирования геоинформационной системы

Важным компонентом ГИС являются данные двух основных типов: пространственные (картографические, векторные), описывающие положение и форму географических объектов и их пространственные связи с другими объектами, и описательные (атрибутивные, табличные) – данные о географических объектах, состоящие из наборов чисел, текстов и т. д.

В зависимости от сложности задач и функционального предназначения ГИС может иметь мощное программное обеспечение и обрабатывать большие объемы информации, поступающей из разных источников. К таким ГИС относят AutoCad, ArcInfo, Arc View и др. В сельскохозяйственном производстве используют упрощенные, менее мощные по программному обеспечению (настольные) ГИС, включающие в себя персональный компьютер и

требуемый набор пакетов программ, способных обрабатывать пространственно распределенную информацию и составлять карты, учитывающие свойства почв, урожайность культур и др. Среди них зарубежные ГИС – MapInfo, ArcGIS, AtlasGIS, WinGIS, MGE, MapPoint и отечественные – GeoDraw, Sinteks ABRIS, ГИС «Хозяйство», «Панорама АГРО», «Карта 2011», мобильная ГИС электронного учета сельскохозяйственных земель «ГЕОУчетчик», информационно-аналитическая система «ГЕО-Агро», ГИАС «Управление сельскохозяйственным предприятием» и др.

Зарубежные разработки ГИС на российском рынке представлены давно, но из-за их высокой стоимости, а также отсутствия достаточного количества специалистов, умеющих с ними работать, при их использовании возникают определенные трудности.

Отечественные программы получили более широкое применение. Разработкой и внедрением ГИС занимаются следующие компании: ЗАО «ИЦ Геомир», ЦГИ ИГРАН, ООО «Агро», КБ «Панорама АГРО», ЗАО «Ракурс», ООО «Интеко-АГРО», ВИМ и др.

### ***Оценка урожайности***

Основным источником информации для составления прогнозов урожайности служат результаты полевых обследований состояния посевов сельскохозяйственных культур и определение урожайности на отдельных участках поля с обязательной географической привязкой полученных данных.

Для измерения урожайности в процессе движения уборочной техники используют специальное оборудование, которое может отражать такие показатели, как урожайность, влажность и масса собранного зерна, обработанная площадь. В состав этого оборудования входят датчики (оптический датчик объема зерна в бункере,

датчик влажности зерна, датчик поперечных и продольных отклонений и др.), представляющие собой набор сенсоров, GPS-приемник, электронно-вычислительный модуль определения урожайности, бортовую информационную систему, карточку памяти, калибратор. GPS-приемник определяет координаты комбайна на поле, которые записываются одновременно с сигналами датчиков урожайности зерна, через определенные промежутки времени. После компьютерной обработки данных создается детальная пространственно ориентированная карта урожайности убранного поля с выделенными определенным цветом участками, отличающимися по урожайности. Погрешность при определении урожайности составляет 3–8 %.

Полученную карту используют для выявления проблемных зон и неравномерности распределения урожая в пределах поля, определения необходимого количества почвенных проб при последующем агрохимическом обследовании, исследования причин снижения урожайности (дефицит питательных веществ, уплотнение почвы, зараженность сорняками и др.), принятия агрономических и управленческих решений, экономической оценки.

На карте можно отобразить информацию о влажности зерна, скорости и пути движения комбайна и др. По данным компьютерного мониторинга урожайности составляют план агрохимического обследования полей, на основании которого осуществляют дифференцированное внесение удобрений и проводят обработку химическими средствами защиты растений.

Для картирования полей используют специальные многофункциональные компьютерные программы. Среди них следует отметить немецкую программу Agro-Net NG (фирма Agrosom). Данное программное обеспечение на

базе геоинформационной системы относится к классу ERP-систем. Оно предназначено для агроменеджеров растениеводческих сельхозпредприятий, управляющих хозяйством с применением технологий точного земледелия, и включает в себя следующие основные модули: карты и схемы участков, землеуправление, арендное управление, картирование урожайности, производственную документацию, ГИС и растровые карты, дистанционное обслуживание средствами интернет-технологий (рисунок 6).



Рисунок 6 – Основные модули программы Agro-Net NG

В рамках программы Agro-Net NG можно создавать базы данных, включающие информацию по всем полям, персоналу, машинам, культурам, питательным веществам, удобрениям, а также многослойные карты полей с возможностью редактирования границ, разбивки полей на участки; планировать мероприятия по каждому полю с последующим отображением на карте; обмениваться данными с бортовыми и карманными компьютерами и экспортировать их в программу 1С.

Программа Agro-Map (ООО «ЭКО-Разум») позволяет создавать карты урожайности, подготавливать задания для дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений, проводить статистический анализ данных по уборке урожая, планировать точки взятия проб для агрохимического обследования и производить последующий учет результатов. В нее входят: отображение, редактирование, печатание текстовой и графической информации, импорт и экспорт данных измерений различных производителей, соединение с карманным компьютером для синхронизации данных и их последующего использования агрономами.

### ***Дифференцированное внесение материалов***

Технологию дифференцированного внесения материалов применяют в основном при таких технологических операциях, как внесение удобрений и средств защиты растений. Согласно этой технологии предусматривается корректировка нормы внесения питательных веществ и средств защиты растений в зависимости от ситуации на каждом отдельном участке поля.

Традиционная технология предполагает внесение одной усредненной дозы удобрений для всего обрабатываемого поля, без учета особенностей рельефа, почвенного покрова, показателей освещенности, температуры почвы, необходимого количества влаги, минеральных и органических веществ на каждом участке.

Современные способы внесения удобрений должны удовлетворять требованиям экологической безопасности, обеспечивать точное внесение требуемой дозы удобрения в зависимости от различных агрофизических, агрохимических, фитосанитарных и других показателей,

характерных для этого участка. В наибольшей степени этим требованиям отвечает технология дифференцированного внесения удобрений, которая является основным структурным элементом точного земледелия. Работа по данной технологии осуществляется в двух основных режимах: *on-line* (режим реального времени) и *off-line* (на основе готовой карты поля). К преимуществам технологии точного земледелия относится возможность электронной записи и хранения информации по истории проведения полевых работ и урожаев, что помогает как при последующем принятии решений, так и при составлении отчетности о производственном цикле.

В режиме *off-line* предусматривается предварительное проведение агрохимического обследования и создания карт обеспеченности почвы элементами питания, на которых наглядно представлено распределение по площади поля пространственно обусловленных элементов питания, их неоднородное количественное содержание.

Анализ накоплений информации после картирования полей с использованием GPS-приемника осуществляется с помощью соответствующих программ (SMS, SSToolBox, Agro-Map, Агроменеджер, ЛИССОЗ и др.), которые позволяют сначала рассчитывать дозы вносимых минеральных удобрений под планируемый урожай на каждом участке поля, а затем их нормы в физическом весе. Эти программы создают карту-задание для дифференцированного внесения удобрений, которая переносится на носителе информации в бортовой компьютер сельскохозяйственной техники, оснащенной GPS-приемником. При движении трактора по полю бортовой компьютер считывает с чип-карты информацию о внесении необходимой дозы удобрений, соответствующую месту нахождения, подает сигнал на контроллер машины для внесения удобрений. Последний в

свою очередь, получив сигнал, выставляет на распределителе удобрений нужную дозу. В этом режиме удобно вносить основное удобрение.

В режиме on-line, который обычно используют для подкормки растений, доза удобрений рассчитывается непосредственно во время операции за один проход техники по полю. Сенсорные датчики в реальном времени определяют основные параметры состояния почв, плотность травостоя и его жизнеспособность, содержание хлорофилла в листьях и биомассу растений. Информация передается на бортовой компьютер трактора, управляющего дозирующей системой машины для внесения удобрений. С помощью соответствующего программного обеспечения происходит обработка данных, после чего определяются необходимые для внесения дозы удобрений и посылаются сигнал на контроллер по той же схеме, что и в режиме off-line.

## ***6 Дистанционное зондирование земли***

В аграрных ГИС основополагающими данными являются карты полей масштаба 1:10000. Эти карты могут создаваться с использованием различных технических и программных средств. Максимально точное и полное представление о сельскохозяйственных угодьях можно получить с помощью использования данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Эта технология позволяет получать информацию о поверхности Земли и объектах, расположенных на ней, атмосфере, океанах, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, когда регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние.

Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта, его биогеофизическими характеристиками и пространственным положением. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства.

Процесс сбора данных дистанционного зондирования и их использования в географических информационных системах схематически представлен на рисунке 7.

Методы дистанционного зондирования основаны на применении сенсоров, которые размещены на космических аппаратах и предназначены для регистрации электромагнитного излучения в форматах, существенно более приспособленных для цифровой обработки, и в более широком диапазоне электромагнитного спектра. В большинстве методов ДЗЗ используют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра.

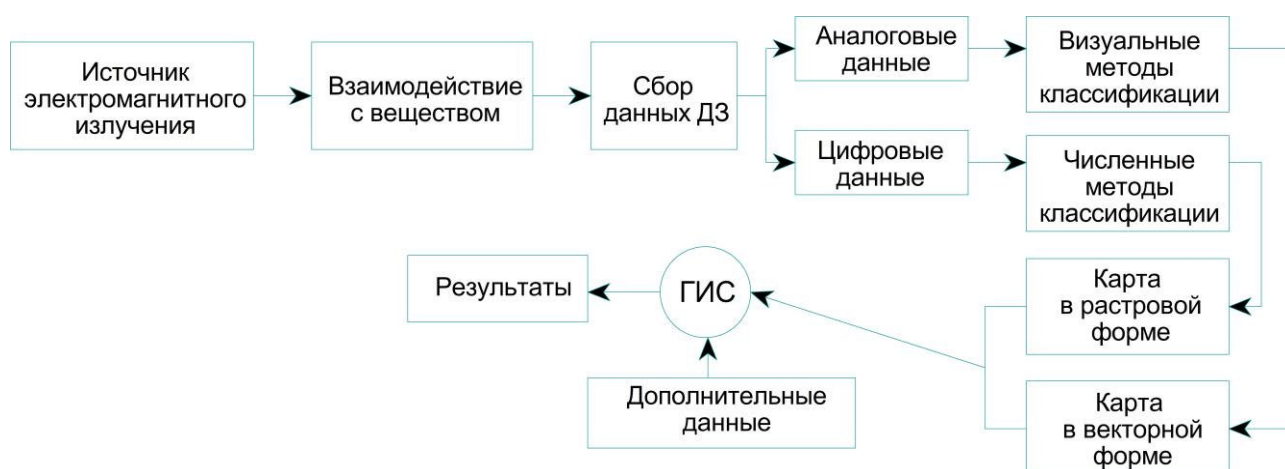


Рисунок 7 – Интеграция данных дистанционного зондирования в геоинформационных системах

Основополагающим методом дистанционного зондирования является аэрокосмическое зондирование, основанное на использовании аэрокосмических снимков. Это двумерное изображение реальных объектов, которое получено по определенным геометрическим и радиометрическим (фотометрическим) законам путем дистанционной регистрации яркости объектов, предназначено для исследования видимых и скрытых объектов, явлений и процессов окружающего мира, а также для определения их пространственного положения.

Аэрокосмические снимки получают с помощью технических средств малой авиации (самолеты типа Ан-2, Ан-30, Cessna, L-410; вертолеты типа Ми-8Т, Ка-26), беспилотной авиационной системы (беспилотный летательный аппарат (БПЛА) в совокупности с его приборным оснащением) или со спутников (Ресурс-ДК1, WorldView-1, WorldView-2, GeoEye-1, QuickBird, IKONOS, Pleiades-1A, Pleiades-1B, ALOS (Prism, Avnir-2), RapidEye, CARTOSAT-1, CARTOSAT-2, RESOURCESAT-1, ALOS (PALSAR), Radarsat-1, Radarsat-2, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed-1-4 и др).

**Беспилотный летательный аппарат** (БПЛА) – это летательный аппарат без экипажа на борту, оснащенный двигателем и имеющий полезную нагрузку и продолжительность полета, достаточные для выполнения специальных задач. В его программно-приборное оснащение входят интегрированная навигационная система, приемник спутниковой навигационной системы, накопитель полетной информации. БПЛА запускается вручную, взлетает, садится в автоматическом режиме по заранее спланированному в ГИС маршруту и выполняет цифровую съемку местности. Каждый снимок сопровождается полным набором цифровой информации (географические координаты центральной точки снимка, высота съемки, угол экспонирования) и телеметрических данных для переноса и использования в ГИС-системах.

---

---

БПЛА могут работать в ручном режиме управления с помощью дистанционного пульта управления, а также в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Автоматическое управление обеспечивает возможность полностью автономного полета БПЛА по заданной траектории, на заданной высоте, с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации. Оно осуществляется с помощью бортовых программных устройств. При полуавтоматическом управлении полет совершается автоматически с помощью автопилота по первоначально заданным параметрам. Однако оператор может вносить изменения в маршрут в интерактивном режиме.

Применение БПЛА, по сравнению с аэрофотосъемкой, проводимой с помощью самолетов, имеет следующие преимущества: возможность съемки с небольших высот и вблизи объектов; оперативное получение снимков высокого разрешения; возможность применения в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья пилотов.

Для выполнения космических снимков используют разнообразные космические носители. В настоящее время увеличивается число коммерческих космических аппаратов, особенно зарубежных марок, функционирующих на орбитах. Наибольшее распространение получили снимки, выполняемые ресурсными спутниковыми системами Landsat (США), SPOT (Франция), IRS (Индия), картографическими спутниками ALOS (Япония), Cartosat (Индия), спутниками сверхвысокого разрешения Ikonos, QuickBird, GeoEye (США), в том числе радиолокационными TerraSAR-X и TanDEM-X (Германия), последовательно выполняющими интерферометрическую съемку. Успешно эксплуатируется система спутников космического мониторинга RapidEye (Германия).

---

---

В системе дистанционного мониторинга земель АПК России используются следующие виды данных:

1. *Спутниковые данные низкого пространственного разрешения NOAA/AVHRR (1 км) SPOT/Vegetation (1 км) Terra/MODIS (0,25–1 км), периодичность съемки – один раз в сутки.*

2. *Данные среднего пространственного разрешения Landsat EMT+ (28 м) SPOT/HRV/HRVIR (10–20 м).*

3. *Мультиспектральные данные ДЗЗ, получаемые сенсором MODIS, который имеет 36 каналов с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем, среднем и дальнем инфракрасном диапазонах. Полученные данные используют для оценки состояния растительности и прогноза урожайности на федеральном уровне.*

Для обеспечения информационной поддержки работы Минсельхоза России создана система дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса (СДМЗ АПК). Она предназначена для сбора, обработки и интерпретации данных спутниковых систем ДЗЗ, мониторинга основных параметров землепользования, оценки условий и динамики развития сельскохозяйственных культур, прогноза урожая в основных зерносеющих регионах России.

### ***Экономические аспекты технологии точного земледелия***

Применение технологий точного земледелия требует дополнительных затрат, среди которых можно выделить категории:

– на сбор данных (карты, глобальные системы позиционирования, сенсоры);

– на мониторинг данных (техника и программное обеспечение);

– на специальную технику для точного выполнения агроприемов и осуществления навигации (ГСП-управляемые машины и оборудование для дифференцированной обработки почвы, посева, внесения удобрений, средств защиты растений и др.).

При внедрении системы технологий точного земледелия необходимо учитывать предполагаемые затраты на каждую из них и многочисленные факторы и обстоятельства, которые в итоге обеспечивают эффект. Обобщенные данные мирового опыта по отдельным технологиям точного земледелия приводятся в таблице 2.2.

Таблица 2 – Эффект от применения технологий точного земледелия с учетом предполагаемых затрат

Технология	Дополнительные затраты	Эффект
1	2	3
Параллельное вождение	Автоматическая система управления; исполнительная карта; программное обеспечение; затраты на обучение персонала	Экономия времени; экономия топлива; водитель может выполнять другие задачи; повышение общей производительности и качества работы
Дифференцированный посев	Почвенные карты; сеялка для дифференцированного посева, изменения глубины и плотности; системы DGPS/RTK	Повышение урожайности за счет лучшей плотности семян и их распределения; снижение затрат на семена

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Дифференцированное внесение удобрений	Система дифференцированного внесения удобрений; встроенная система ГИС; аэрофотоснимки, картирование урожайности, пробы почв, карта почвы, затраты на обучение персонала	Повышение урожайности; экономия времени; экономия удобрений
Дифференцированное опрыскивание по карте сорняков	Комплексный инжекторный распылитель; пробы почвы (карта почвы);	Экономия гербицидов; экономия времени; повышение урожайности
	Затраты на обучение персонала; составление карты сорняков с автономными системами отображения сорняков	
Дифференцированное орошение	Программное обеспечение управления водопользованием; поливной трубопровод системы капельного орошения; датчики	Экономия воды; экономия питательных веществ

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Дифференцированная обработка почвы по почвенным картам	Почвенные карты; датчики для определения состава почвы; рабочие органы	Повышение урожайности; экономия энергии; экономия времени; улучшение эффективности машины
Измерение содержания хлорофилла в сельскохозяйственных культурах перед уборкой урожая	Датчики для составления карт содержания хлорофилла в растениях; составление карт урожайности	Повышение качества продукции; оптимальный период начала уборки; улучшение качества зерна при оптимальном содержании влаги
Логистика уборки урожая	Единая система управления транспортными средствами; новая система транспортных средств; карты урожайности;	Повышение урожайности; оптимизирование сбора урожая; экономия топлива; снижение содержания влаги в зерновых культурах;
	Логистическая система оптимизации; вспомогательные программные средства составления временного графика уборки урожая	Экономия времени при транспортировке
Управление информацией	Программное обеспечение обработки карт полей	Сокращение времени и затрат на поиск рабочей силы; повышение качества полученных данных

Одни категории затрат реализуются один раз в 5–10 лет, другие – ежегодно. Привлекательность технологий точного земледелия, как и других технологических инноваций, на практике определяется экономической эффективностью на примере сельскохозяйственного предприятия. При анализе экономической эффективности применения элементов точного земледелия сопоставляют затраты на покупку техники и другие производственные издержки с уровнем снижения затрат или прибавкой урожайности по сравнению с традиционными технологиями.

Использование экономического анализа в технологии точного земледелия ограничено трудностями, связанными с идентификацией и количественным учетом как положительных, так и отрицательных эффектов.

В частности, к таким положительным эффектам относятся: снижение нагрузки и упрощение рабочего процесса для механизаторов за счет автоматизации технологических операций, повышение эффективности сбыта продукции вследствие прозрачности и доступности для контроля всего производственного процесса, более качественное управление агротехнологиями на основе информационной базы в целом, улучшение условий оптимизации менеджмента как отдельных производственных процессов, так и всего хозяйства.

Однако трудно учесть затраты, связанные с повышением квалификации руководителей и рабочих, а также освоением новых специальных знаний на начальных этапах работы с новой техникой и современными технологиями. При внедрении технологии точного земледелия руководителям и специалистам сельскохозяйственных предприятий необходимы дополнительные профессиональные знания для управления технологическим процессом.

Большинство современных подходов к экономическому анализу технологии точного земледелия сводится к оценке применяемой техники и соответствующих технологий при выращивании отдельной сельскохозяйственной культуры. Вместе с тем очевидно, что общий агроэкономический эффект от интеграции технологий точного земледелия в масштабах хозяйства с учетом синергетических эффектов будет более высоким по сравнению с применением отдельных технологических комплексов.

Следует выделить основные факторы, определяющие динамику материальных и трудовых затрат (посевной материал, удобрения, средства защиты растений, горючее, затраты труда и др.) и повышение урожайности сельскохозяйственных культур:

– *неоднородность полей по плодородию почв* – чем она выше относительно оптимальных условий для роста и развития культурных растений, тем больше возможности для экономии производственных ресурсов и повышения урожайности;

– *интенсификация производства* – экономическая эффективность точного земледелия повышается при более высоком уровне интенсификации производства за счет снижения затрат средств производства;

– *размер хозяйства или площадей, на которых проводятся дифференцированные мероприятия* – с увеличением обрабатываемого участка в системе точного земледелия снижаются затраты на единицу площади, так как при этом постоянные издержки распределяются на большую территорию. С учетом того, что у каждой машины существует свой предел производительности по площади, при его превышении требуются дополнительные затраты. Переменные затраты не изменяются, а в отдельных случаях могут возрастать.

Для небольших хозяйств технологии точного земледелия, как правило, только тогда экономически выгодны, если они не приобретают сами необходимую технику, а используют услуги сервисных фирм.

Кроме того, на экономическую эффективность технологий точного земледелия оказывают влияние:

- ассортимент выбранной техники, полнота ее технологического использования и уровень интеграции в хозяйстве;

- рациональное использование технологического комплекса в рамках управления предприятием.

Кроме того, определенное значение имеют факторы, которые непосредственно не зависят ни от агроэкологических и других показателей полей или в целом хозяйств, ни от организации системы менеджмента, например:

- цены на отбор и обобщение исходного информационного массива;

- цены на средства производства;

- цены на производимую сельскохозяйственную продукцию.

В отличие от других современных инновационных процессов, как, например, генной инженерии, отношение населения и потребителей к точному земледелию, как правило, положительное или нейтральное. Повышается наукоемкость сельскохозяйственного производства и привлекательность сельскохозяйственных профессий, особенно среди молодого поколения фермеров и специалистов. Однако технологии точного земледелия внедряются в сельскохозяйственную практику сравнительно медленно.

Проводимый опрос руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий выявил следующие

---

---

основные причины сдержанного отношения к технологиям точного земледелия:

- значительный дефицит информации о его преимуществах;
- недостаточная совместимость техники, отсутствие технического нормирования интерфейсов;
- сомнения в функциональности и надежности техники, особенно электронных систем;
- недостаточная поддержка при адаптации программного обеспечения точного земледелия соответствующими фирмами;
- большие затраты времени для освоения новых технологий, повышения квалификации и дополнительные расходы на управление агротехнологиями;
- опасение несанкционированного использования компьютерных баз данных.

Приведем простой пример получения экономического эффекта от использования комплексных технологий. Например, возьмем поле площадью 100 га и посчитаем все затраты на выращивание озимой пшеницы. Получим сумму в 1,5 млн руб. Далее с учетом полученной урожайности 50 ц/га и рыночной стоимости 8000 руб./т вычитаем затраты, и чистая маржинальная прибыль будет порядка 2,5 млн руб. Если бы нами были применены системы параллельного вождения, спутниковый мониторинг определения неоднородности для последующего дифференцированного внесения удобрений, то добавленная стоимость увеличилась бы минимум на 20 %, а это составляет 500 тыс. руб. только с одного поля.

Незначительные потери не заметны в масштабе небольшого хозяйства, но если оно большое, то и потери становятся огромной проблемой.

## **Экологические аспекты технологии точного земледелия**

Внедрение технологии точного земледелия обеспечивает получение положительных экологических эффектов за счет дифференцированного применения химических средств защиты растений на отдельно взятых полях с учетом их дифференциации по плодородию почв и другим условиям роста и развития растений. При этом достигаются экономия материально-технических ресурсов за счет более рационального их использования и положительный экологический эффект. Однако его количественная оценка затруднена вследствие объективных причин, в частности:

- комплексный характер мероприятий по внедрению технологии точного земледелия и их воздействие на агроэкосистемы затрудняют определение экологической эффективности (снижение затрат средств производства – горючее, удобрения, средства защиты растений и др.);

- экологическая обусловленность технологии точного земледелия ландшафтными и климатическими условиями представляет возможность обобщения результатов, полученных в ходе проведения опытов по точному земледелию и использования их в других регионах с близкими агроэкологическими условиями;

- положительные экологические эффекты от внедрения технологий точного земледелия определяются особенностями их применения на практике. Однако они не получили широкого распространения, и достаточно затруднительно получить конкретные данные о реальном масштабе, подтверждающие их эффективность. Кроме того, получение экологического эффекта зависит от уровня интенсификации хозяйства. Чем он выше, тем значительнее экологический эффект от использования технологий точного земледелия;

– результат оценки экологического эффекта точного земледелия в значительной степени зависит от выбора технологий или систем хозяйствования, с которыми сравнивают технологии точного земледелия. При этом очевидно, что они различаются и в количественном выражении в зависимости от уровня интенсификации и экологизации выбранных для сравнения агротехнологий.

В научной литературе экологические эффекты от применения технологий точного земледелия определяют при сравнении дифференцированной обработки отдельно взятого поля с традиционными сплошными обработками без учета различий по плодородию, но при одинаковом уровне прикладываемых усилий.

Снижение интенсивности обработки почвы с учетом дифференциации глубины в пределах отдельно взятого поля обеспечивает прежде всего возможность сокращения расхода горючего.

Экологический эффект от применения дифференцированной технологии посева в зависимости от неоднородности поля в целом, вероятно, ниже по сравнению с дифференцированной обработкой почвы, а его количественная оценка гораздо сложнее.

В результате обеспечивается экономия посевного материала, удобрений и средств защиты растений, а также снижается потребность в посевных площадях. Очевидно, что экологический потенциал этого элемента технологии точного земледелия невысок.

Дифференцированное внесение удобрений имеет, несомненно, более высокий положительный экологический эффект. При уменьшении расхода удобрений в связи с дифференцированным их внесением можно ожидать снижение совокупного отрицательного влияния на внешнюю среду, как при их производстве, так и при внесении. При этом сокращаются расход невозобновля-

емых энергетических ресурсов, а также поступление содержащихся в удобрениях тяжелых металлов (урана, кадмия) в почву. Количественная оценка этих эффектов затруднительна. Кроме того, в ряде случаев применение технологий точного земледелия связано с увеличением доз вносимых удобрений с целью повышения экономической эффективности адаптивно-ландшафтного земледелия.

Эффективное управление популяциями агроценозов обеспечивает повышение уровня их саморегулирования. Благодаря этому применение технологии точного земледелия открывает дополнительные возможности для управления резистентностью популяций вредных организмов к средствам защиты растений.

На практике можно реализовать рассмотренные стратегии борьбы с сорняками. Очевидно, что технология точного земледелия является основным инструментом для практической реализации мероприятий охраны ценных агроландшафтов и обеспечения экологической стабильности в пределах отдельно взятого поля и соседних биоценозов в рамках реализации стратегий адаптивно-ландшафтного земледелия. В результате открываются дополнительные возможности для охраны редких видов дикой флоры и фауны.

Воплощение на практике экологического потенциала точного земледелия во многом зависит от выбора государственной агротехнологической политики и законодательных актов.