

	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»	Приложение к ОПОП ВО
		Методические указания

Кафедра почвоведения, агрохимии  
и точного земледелия

**МДК.01.02 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ С ОСНОВАМИ  
ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к самостоятельным работам обучающегося**

**Уровень профессионального образования**  
Среднее профессиональное образование

**Образовательная программа**  
подготовки квалифицированных рабочих, служащих

**Профессия 35.01.26 Мастер растениеводства**

**Квалификация выпускника**  
Мастер растениеводства

Составитель: д. с.-х. н., профессор Д.Р. Исламгулов

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета агротехнологий и лесного хозяйства.

Ответственный за выпуск: зав. кафедрой почвоведения, агрохимии и точного земледелия Исламгулов Д.Р.

## **«Проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия с использованием ГИС-технологий».**

История возникновения и основные элементы точного земледелия.

Экономические аспекты технологий точного земледелия.

Экологические аспекты технологий точного земледелия и качество продукции

### ***«История возникновения и основные элементы точного земледелия»***

Согласно стратегии научно-технологического развития РФ, одним из приоритетов развития страны следует считать переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям и роботизированным системам. Большим вызовом является необходимость обеспечения продовольственной безопасности и независимости России, конкурентоспособности отечественных продуктов на мировых рынках, снижение технологических рисков в АПК. Для обеспечения продовольственной и биологической безопасности человечеству необходимо сельское хозяйство нового типа. Вопросам перехода к новой экономической модели и к «интеллектуальному» сельскому хозяйству как ее неотъемлемому компоненту уделяют все большее внимание. С учетом стратегических задач развития Российской Федерации ставится задача преобразования сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий. «Интеллектуальное» сельское хозяйство основано на применении автоматизированных систем принятия решений, комплексной автоматизации и роботизации производства, а также технологиях проектирования и моделирования экосистем. Оно предполагает минимизацию использования внешних ресурсов (топлива, удобрений и агрохимикатов) при максимальном задействовании локальных факторов производства (возобновляемых источников энергии, биотоплива, органических удобрений и т. д.).

Анализ мировых тенденций развития аграрного производства инновационных решений в смежных областях свидетельствует, что большая часть разработок в АПК в последние годы базируется на широком применении информационных, телекоммуникационных технологий, электронных автоматизированных систем, роботов и др. Фактически на предприятиях создаются автоматизированные системы управления производством, постепенно вытесняющие человека из процессов сбора данных, принятия и реализации решений.

Здесь представлены основные этапы механизации и автоматизации в сельском хозяйстве с 1900-го года, когда началась тотальная механизация сельского хозяйства. В 1970-х годах промышленное производство электроники позволило использовать ее для контроля и управления рабочими органами на сельскохозяйственных машинах

Начало внедрения точного земледелия (Япония, США, европейские страны) связано с 1980-ми годами. Также эти годы связаны с использованием навигационной космической аппаратуры GPS для автоматического вождения техники и мониторинга урожайности. С 1996-го года по настоящее время точность позиционирования выросла с 2 метров до 2 см. В середине 1950-х в Ленинградской военно-воздушной академии было произведено первое научное обоснование использования искусственного спутника Земли для навигации наземных потребителей.

Обобщенные этапы формирования современного понятия «точное земледелие» в России представлены на слайде. Агрономические аспекты связаны с такими именами, как Болотов, Карпович, Докучаев, Стебут, Чупров, Мосолов.

Начало реализации технических аспектов точного земледелия с помощью спутниковых систем: GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Галилео (Европа), появление системы координатной агротехники произошло в 80-90-е годы. В настоящее время «точное земледелие» сформировалось как мировоззренческая наука об эффективном производстве сельскохозяйственной продукции на основе методологических принципов оптимального землепользования. С развитием сельскохозяйственного машиностроения и выпуском новых образцов техники, таких как комбинированные орудия, энергонасыщенные трактора, самоходные комбайны и опрыскиватели, в земледелии стали более широко применяться различные технические и электронные средства механизации и автоматизации производства. Однако первые экспериментальные образцы сложных и дорогостоящих приборов электроники оказались непригодными для полевых работ. Они отличались относительно большими габаритами и плохо работали в условиях высокой влажности, динамических нагрузок, а также при недостаточно квалифицированном уровне их эксплуатации и обслуживания. Со временем стали появляться более надежные и компактные образцы электроники, обладающие влаго- и пылезащитными свойствами, не требующие частого обслуживания и ремонта. Были разработаны адаптированные к сложным сельскохозяйственным условиям специальные образцы датчиков и сенсоров, электронные приборы и оборудование. Внедрением новых средств электроники в сельское хозяйство начали заниматься в 1980-х гг. в Японии, Германии, Англии, Нидерландах и США. При этом само понятие точного земледелия зародилось в Великобритании, где на ферме в графстве Саффолк на протяжении трех лет проводились работы по предварительному координатному анализу почвы в проблемных зонах, дифференцированному внесению удобрений в строгой зависимости от уровня плодородия, а также последующего картографирования полученной урожайности. Удобрения вносились машиной, имеющей возможность точного дозирования.

Первые попытки применения точного земледелия в середине 1980-х гг. основывались на научном направлении «почва – основа земледелия». Этот подход стимулировал развитие почвенного картирования и управления

ресурсами хозяйства по средним показателям почвенного плодородия. Следующий этап основывался на выделении «зон управления» по результатам почвенного картирования, который позже стал известен как «пространственно-дифференцированное управление урожайностью». Данный подход получил широкое распространение после проведения полевых исследований по сравнению двух практик внесения удобрений – однородного и дифференцированного, и выявления значительно большей неоднородности, чем при управлении по элементам почвенного картирования.

**Точное сельское хозяйство** включает две подсистемы – точное земледелие и точное животноводство. **Точное земледелие**, в свою очередь, можно подразделить на четыре подсистемы: менеджмент организационно-методических мероприятий на основе автоматического сбора данных (менеджмент хозяйства); управление обработкой почвы, посевом, внесением удобрений, защиты растений, орошения с учетом неоднородности агроэкологических условий роста и развития культур в пределах одного взятого поля; менеджмент машинно-транспортного и технологического обеспечения (менеджмент машин); менеджмент рабочих процессов на основе использования робототехники (робототехника).

К элементам **точного земледелия**, которые в настоящее время находят практическое применение и будут использоваться в будущем, можно отнести: определение границ поля с использованием спутниковых систем навигации; дистанционное зондирование (аэро- или спутниковая фотосъемка); системы параллельного вождения машин; локальный отбор проб почвы в системе координат;

Также к элементам **точного земледелия** составление цифровых карт и планирование урожайности; дифференцированные технологии (внесение удобрений, известки, средств защиты растений, регуляторов роста, обработка почвы, посев); мониторинг качества урожая; составление карт электропроводности почв и др.

Под цифровым сельским хозяйством понимают производство сельскохозяйственной продукции с использованием более автономных от непосредственного участия человека производственных и бизнес-процессов. Основой **цифрового сельского хозяйства** являются модели сквозных процессов производства и сбыта сельскохозяйственной продукции, позволяющие оптимизировать производство и сбыт продукции в режиме, близком к автоматическому, при минимизации воздействия на окружающую среду. Массовое использование такого подхода в сельском хозяйстве только начинается. Пока сложно оценить экономический эффект от цифровой трансформации сельского хозяйства. Тем не менее даже на начальном этапе перехода к цифровому сельскому хозяйству доказанный на практике экономический эффект составляет десятки процентов повышения урожайности, снижения потерь и удельных затрат на производство единицы продукции. В Европе наиболее часто используют термины «точное сельское хозяйство» и «точное земледелие».

**Точное земледелие** – интегрированная сельскохозяйственная производственная система, основанная на достижениях информационных технологий, использовании системы автоматического управления тракторами, сельскохозяйственными машинами и оборудованием, сенсорной техники, а также общей компьютеризации всех процессов сельскохозяйственного менеджмента, направленная на оптимизацию агротехнологий и стабилизацию продуктивности агроценозов при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду. В иностранной научной литературе существуют многочисленные термины и определения, которые являются синонимами или обозначают основные элементы точного земледелия. Переводы также дают разные вариации этого понятия – «умное сельское хозяйство», «точное фермерство», «координатное земледелие», «климатически умное сельское хозяйство», «высокоточное земледелие», «интеллектуальное сельское хозяйство», «интеллектуальное земледелие», «интеллигентное земледелие», «прецизионное земледелие» и др.

**Координатное земледелие** – система управления производственным процессом сельскохозяйственных культур, основанная на комплексном использовании современных информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, программно-технических средств и систем, обеспечивающих оптимизацию агротехнологических решений применительно к конкретным почвенно-климатическим и хозяйственным условиям.

**Климатически умное сельское хозяйство** – ведение сельского хозяйства с учетом природно-климатических условий региона с минимальным отрицательным воздействием на окружающую среду, в частности снижением поступления в атмосферу парниковых газов.

**Умное сельское хозяйство** – новое направление ведения устойчивого сельского хозяйства для обеспечения продовольственной безопасности сельскохозяйственного производства, связанное с совершенствованием и более эффективным использованием элементов точного земледелия, таких как системы позиционирования, различные датчики для получения информации о состоянии почвы, растений, окружающей среды с целью обоснованного принятия оптимальных управленческих решений. При этом предполагается более эффективный учет внутривидовой вариативности параметров плодородия для принятия оптимальных решений за счет более широкого использования информационных и систем глобального позиционирования; сенсоров; более прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур; управления данными.

В последние годы в сельском хозяйстве все активнее начинает использоваться понятие «**интернет вещей**», под которым понимается глобальная концепция взаимодействия и обмена информацией различными устройствами, машинами, системами посредством Интернета. Он позволяет на некоторых этапах производства продукции снизить долю участия в нем человека путем автоматизации и контроля процесса посредством различных

«умных» устройств. Робототехника также является одним из наиболее востребованных и динамично развивающихся во всем мире научно-технологических направлений.

### *«Экономические аспекты технологий 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.

Здесь представлены обобщенные данные мирового опыта по эффективности отдельных технологий точного земледелия. При любой технологии точного земледелия, как правило, требуются дополнительные затраты. В то же время от них всегда есть эффект. Например, для внедрения параллельного вождения необходимы затраты в виде автоматической системы управления; исполнительной карты; программного обеспечения; затрат на обучение персонала. Эффект получаем в виде экономии времени; экономии топлива; водитель может выполнять другие задачи; повышения общей производительности и качества работы.

При дифференцированном внесении удобрений необходимы система дифференцированного внесения удобрений; встроенная система ГИС; аэрофотоснимки, картирование урожайности, пробы почв, карта почвы, затраты на обучение персонал. Эффект - повышение урожайности; экономия времени; экономия удобрений.

При дифференцированной обработке почвы необходимы почвенные карты; датчики для определения состава почвы. Эффект - повышение урожайности; экономия энергии; экономия времени; повышение эффективности машины.

Для управления информацией необходимо программное обеспечение обработки карт полей. В то же время эффект получаем в виде сокращения времени и затрат на поиск рабочей силы; повышения качества полученных данных.

Опыт эксплуатации распределителей удобрений в Европе (по данным компании Amazone) показывает, что увеличение неравномерности на каждые 5% приводит к дополнительным потерям минимум в 1,5%. Это может значить, что на каждые 1000 га площади можно недополучить урожая, равного по величине урожаю, собранному с 15 га.

Привлекательность технологий точного земледелия, как и других технологических инноваций, на практике определяется экономической эффективностью 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 технологиях точного земледелия ограничено трудностями, связанными с идентификацией и количественным учетом как положительных, так и отрицательных эффектов.

В частности, к таким положительным эффектам относят: 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, 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 технологий 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.

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.

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 онлайн-сервиса на отбор и обобщение исходного информационного массива; цены на средства производства; цены на производимую сельскохозяйственную продукцию.

В отличие от других современных инновационных процессов, 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.

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.

Пример получения экономического эффекта от использования комплексных технологий: все затраты на выращивание озимой пшеницы на поле площадью 100 га составляют 1,5 млн руб. С учетом полученной урожайности 50 ц/га и рыночной стоимости 8000 руб./т вычитаем затраты и получаем показатель чистой маржинальной прибыли порядка 2,5 млн руб. В случае применения систем параллельного вождения, спутникового мониторинга определения неоднородности для последующего дифференцированного внесения удобрений добавленная стоимость увеличилась бы минимум на 20%, а это составляет 500 тыс. руб. только с

одного поля. Незначительные потери незаметны в масштабе небольшого хозяйства, но если оно крупное, то и потери становятся огромной проблемой.

Рассмотрим некоторые примеры результатов использования технологий точного земледелия.

С помощью внедрения онлайн-сервиса для фермеров ExactFarming были проведены следующие мероприятия: уточнение площади полей выявило разницу между плановой и уточненной площадью в 200 га, что позволило сэкономить 3 млн руб.; мониторинг земель с помощью БПЛА позволил своевременно провести обработку полей от вредителей, что позволило избежать потерь от снижения урожайности на 800 га подсолнечника и дало прибыль 3,99 млн руб.;

– оптимизация проведения сроков уборочной кампании дала экономический эффект 1,72 млн руб.; общий эффект от внедрения технологий точного земледелия составил 40,69 млн руб. на площади 11221,6 га, средняя доходность с 1 га – 3514 руб./га.

Рассмотрим расчет экономической эффективности использования беспилотного трактора. Расчет выполнен для тракторов К-744 Р1-СТАНДАРТ с прямым роботизированным аналогом К-744 (Р1-РОБОТ) и более мощным роботизированным трактором К-744 (Р4-РОБОТ). Вычисление произведено исходя из срока службы трактора 7 лет с последующей реализацией на вторичном рынке.

В расчете приняты следующие условия: беспилотные тракторы загружены в 1,5 раза больше; стоимость беспилотного трактора на 15% выше стоимости трактора, на базе которого он изготовлен, остаточная стоимость беспилотного трактора – на 10%; расходы на ТО и ремонт на 25% ниже расходов базового трактора за счет оптимизации затрат благодаря системе постоянного удаленного контроля параметров; удельная оплата высококвалифицированного труда оператора роботизированного комплекса ниже, так как он обслуживает несколько единиц одновременно.

Произведен расчет затрат (в части трактора) на условную стандартную технологию посева зерновых на площади 10 000 га комбинированным пневматическим посевным агрегатом с предварительной подготовкой почвы отвальными плугами и дисковыми боронами. При этом приняты следующие допущения: загрузка базового трактора – в две смены по 8 ч; загрузка беспилотного трактора – в круглосуточном режиме; коэффициент использования сменного времени на 15% выше за счет точности выполнения операций в системе точного земледелия, сокращения времени пересменок, заправок и оптимизации ежесменного технического обслуживания.

В результате расчета получен годовой экономический эффект внедрения роботизированных тракторов в рамках одной агротехнологии только на прямых затратах – 374 000 руб. на 1000 га.

***«Экологические аспекты технологий точного земледелия и  
качество продукции»***

Внедрение технологий точного земледелия обеспечивает получение положительных экологических эффектов за счет дифференцированного применения химических средств защиты растений на отдельно взятых полях с учетом их неоднородности по плодородию почв и другим условиям. При этом достигаются экономия материально-технических ресурсов за счет более рационального их использования.

Однако его количественная оценка затруднена вследствие объективных причин, в частности: комплексный характер мероприятий по внедрению технологий 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. Получение экологического эффекта зависит от уровня интенсификации хозяйства. Чем он выше, тем значительнее экологический эффект от использования технологий точного земледелия.

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, 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 более высокий положительный экологический эффект. При этом уменьшение расхода удобрений может обусловить снижение совокупного отрицательного влияния на внешнюю среду как при их производстве, так и при внесении. Кроме того, сокращается расход невозобновляемых энергетических ресурсов, а также поступление содержащихся в удобрениях тяжелых металлов 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. Для экономии удобрений и средств защиты, предотвращения избыточной обработки посевов гербицидами и

фунгицидами необходимо автоматическое отключение секции на опрыскивателе. Это дает на практике множество преимуществ: прежде всего - экономия в зависимости от структуры участка от 3 до 10% и защита окружающей среды из-за точности применения.

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. Консервационная обработка почвы может снизить темпы эрозии сельскохозяйственных культур.

Качество продукции растениеводства определяется агроэкологическими условиями, сортами растений и технологиями их возделывания. Решение проблемы качества начинается с размещения культур в зависимости от зонально-провинциальных условий в соответствии с агроэкологическим районированием. Каждая культура имеет свои ареалы не только урожайности, но и качества. Например, наилучшие условия для производства продовольственного зерна пшеницы с высоким содержанием белка и качества клейковины складываются в степной зоне и южной лесостепи. В таежно-лесной зоне и северной лесостепи качественное продовольственное зерно можно получить лишь в интенсивных агротехнологиях. Соответственно в первом случае эффективно производство фуражного ячменя с высокой белковостью, а во втором — пивоваренного низкobelкового. Сахаристость сахарной свеклы существенно возрастает к югу черноземной зоны, так же как содержание масла в подсолнечнике и т. д.

Ключевую роль в обеспечении качества продукции играет сорт. При этом, помимо непосредственно генетической предрасположенности формировать то или иное качество продукции, имеет значение устойчивость сорта к полеганию, болезням и другим стрессам, резко снижающим качество продукции. Генетический потенциал сорта реализуется агротехнологиями. В интенсивных агротехнологиях качество продукции планируется, так же как и урожайность, и достигается комплексом технологических операций по направленному регулированию продукционного процесса. Например, содержание и качество белка пшеницы достигается регулированием азотного режима агроценоза. Поздние подкормки азотом прямо ориентированы на повышение качества пшеницы. Перспективная задача высоких агротехнологий — производство продукции заданного качества по всем параметрам, в том числе и по содержанию микроэлементов.

Качество продукции растениеводства во многом определяет ее рыночную цену. Внутренний рынок и международная торговля требуют введения и дифференциации показателей качества, нахождения их объективных значений, выражаемых через измеряемые приборами количественные характеристики. Желаемое качество проявляется прежде всего в требованиях стандартов. Национальные стандарты и товарные

классификации зерна, закрепляют требования к уровням качества в стране-производителе. Международные стандарты ориентированы на требования, устраивающие все договаривающиеся стороны. Стандарты на растениеводческую продукцию, как правило, устанавливают общие требования к качеству: товарный вид, отсутствие посторонних вкусов и запахов, а также требования и нормы, позволяющие классифицировать продукцию по сортам, классам, категориям и т. п.

Из всего многообразия показателей качества растениеводческой продукции в стандартах всегда выделяются наиболее важные: в картофеле для промышленной переработки — содержание крахмала, в зерне пшеницы — содержание клейковины или белка, в корнеплодах сахарной свеклы — содержание сахара, в семенах подсолнечника — содержание и кислотное число масла и т. д. Главным показателем, характеризующим качество зерна пшеницы, в российских стандартах выступает клейковина, в международных стандартах таким показателем является содержание белка. Питательную ценность зерна определяет не только общее содержание белка, но и наличие в белке незаменимых аминокислот. Особого внимания в числе показателей качества заслуживает наиболее простой из них — натура зерна. Натурой называют массу зерна определенного объема. Признаком, характеризующим способность зерна давать муку нужного качества, является его стекловидность.

Понятия «контроль качества продукции растениеводства» и «сертификация товарных партий» хотя и сходны по типу применяемых измерений, но различны по направленности использования их результатов.

Контроль качества осуществляется в целях производства и может проводиться на всех этапах производства, транспортирования и хранения продукции собственными или сторонними лабораториями. Оперативное получение объективной информации по качеству позволяет своевременно принимать необходимые решения. Производственный контроль качества производителя, как правило, организуют в виде входного, операционного и заключительного (выходного) контроля. Входной контроль (приемочный) — это контроль, например, качества семян, удобрений и всего того, что поступает со стороны. Операционный контроль — это контроль качества продукции растениеводства на промежуточных стадиях производства и хранения. По результатам выходного контроля (заключительного) производителем принимаются решения об использовании продукции,.

Сертификация — деятельность третьей стороны, независимой от изготовителя (продавца) и потребителя продукции, по подтверждению соответствия отдельных партий продукции установленным стандартам, если сертификация является обязательной, или техническим условиям, утвержденным производителем, если сертификация является добровольной. Сертификация проводится аккредитованными органами по сертификации, которыми могут быть организации любой правовой формы, располагающие необходимыми лабораториями и квалифицированным персоналом, прошедшие процедуру аккредитации, Сертификация бывает обязательной и

добровольной. Обязательной сертификации подлежат продукция и услуги, от которых зависят безопасность окружающей среды, здоровья, жизни и имущества потребителя. Вся пищевая продукция и сырье сертифицируются в обязательном порядке,

Порядок проведения обязательной сертификации продукции растениеводства включает в себя следующее: подачу и рассмотрение заявки на сертификацию с прилагаемыми документами; принятие решения по заявке, в том числе выбор схемы сертификации; отбор, идентификацию образцов и их испытания; анализ состояния производства или сертификацию систем качества; анализ полученных результатов и принятие решения о возможности выдачи сертификата соответствия; выдача сертификата и лицензии на применение знака соответствия; инспекционный контроль над сертифицированной продукцией; корректирующие мероприятия при нарушении соответствия продукции установленным требованиям и при неправильном применении знака соответствия.

Сертификация зерна, например, предусматривает определение следующих показателей: органолептические (внешний вид, цвет, запах), физико-химические (натура, стекловидность, количество и качество клейковины), токсичные элементы, микотоксины, вредная примесь, зараженность зерна фузариозом, наличие пестицидов, радиоактивных веществ, а также стекла и металла.

Основным направлением борьбы за качество альтернативным выборочному контролю стало использование международных стандартов серии ИСО 9000, в основу которых положен не контроль собственно качества продукции, выпускаемой предприятием, а контроль технологической культуры предприятия, осуществляемый через предписываемую стандартом систему документооборота. Переход в стандарт ИСО 9000 остается самым перспективным направлением для тех сельхозпроизводителей, что стремятся выйти на международные рынки продовольственного сырья.

## Дистанционное зондирование земли

Методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве.

Беспилотные авиационные системы и нормативно-правовая база их использования.

Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве.

### *«Методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве»*

Применение дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве, принято классифицировать, в зависимости от типа платформы и установки датчиков или сенсоров. Различают: спутниковые, беспилотные (авиационные) и наземные.

Дистанционное зондирование земли используется в растениеводстве:

- при мониторинге используемости сельскохозяйственных угодий, выделении обрабатываемых и необрабатываемых земель, картографировании, получении сведений о выращиваемых культурах, последующий контроль используемости угодий и др.

- при оценке состояния сельскохозяйственных земель. Например, выявление последствий неблагоприятных условий, деградация, эрозия, загрязнение.

- при оперативной оценке состояния посевов, таких как развитие растений и обеспеченность элементами питания, фитосанитарный мониторинг с возможностью оценки на уровне отдельных полей, районов и целом региона.

В сельском хозяйстве для получения изображений, начиная с 1972 года используются спутники, первый спутник – Лэндсат 1. Многоспектральная сканирующая система, позволяла получать изображения в зеленом, красном и двух инфракрасных диапазонах с пространственным разрешением 80 м, частота получения данных составляла 18 дней. Лэндсат 1 изначально использовался для определения сельскохозяйственных ландшафтов, занятых посевами кукурузы и сои в США.

Прогресс развития спутникового дистанционного зондирования в сельском хозяйстве очевиден. Подтверждением служит пространственное разрешение систем получения изображений, которое улучшилось с 80 м для Лэндсат до нескольких сантиметров для Геоай и Ворлд вью. Периодичность получения снимков сократилась с 18 дней – до одного дня, количество спектральных полос, доступных для анализа, увеличилось с четырех до восьми и более. Гиперспектральные аэрофотоснимки коренным образом изменили возможности различать характеристики сельскохозяйственных культур, включая содержание питательных веществ, воды, пораженность вредителями, болезнями, засоренность сорными растениями, определять биомассу и структуру посева.

Вторым вариантом применения дистанционного зондирования является использование беспилотных авиационных систем.

Беспилотная авиационная система, помимо беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состоит из бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.

Имеются два варианта конструкции беспилотных летательных аппаратов: первое с фиксированным неподвижным крылом и второе с вращающимся крылом, которые в последующем классифицируются в зависимости от массы аппарата и вида двигателя.

Беспилотники, с фиксированным крылом относятся к самолетному типу, состоят из жесткого крыла, которое имеет заданный аэродинамический профиль. Полет обеспечивается с помощью пропеллера, который приводится в движение двигателем. Преимуществом данного типа является то, что они могут нести полезную нагрузку на большие расстояния при меньшей мощности. Недостатком является необходимость взлетно-посадочной полосы или пусковой установки для взлета и посадки. При полете теряется визуальный контакт с аппаратом, что осложняет процесс работы. В некоторых странах Европы и Америки законодательно оно запрещено.

Беспилотники с вращающимся крылом, вертолетного типа состоят из одной и более лопастей, которые вращаются вокруг неподвижной оси. Постоянного движения аппарата вперед не требуется для создания воздушного потока над лопастями, вместо этого сами лопасти находятся в постоянном круговом движении, которые создают необходимый воздушный поток для поднимающей силы. Управление БПЛА с вращающимся крылом происходит за счет изменения тяги и крутящего момента двигателя.

Наибольшее преимущество данного типа беспилотника – это возможность взлета и посадки по вертикали.

Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве позволяет осуществлять видеоконтроль над территорией полета на высотах от нескольких сантиметров до сотен метров в реальном режиме времени и одновременно производить фиксацию на видео и фото.

Одним из таких вариантов – является ортофотоплан. Ортофотоплан является разновидностью плана местности на точной геодезической основе, который дает возможность с максимальной достоверностью воссоздать земную поверхность. Снимки, сделанные с беспилотника, преобразовываются из центральной проекции в ортогональную, после чего пропадает эффект параллакса.

Следующий вариант – это технология мультисенсорной фотосъемки. Здесь использует полосы зеленого, красного, синего и инфракрасного диапазонов для захвата видимых и невидимых изображений культур и иной растительности.

Мультиспектральные изображения интегрируются со специализированным программным обеспечением, которое переводит информацию в цифровые данные. Спектральная визуализация также позволяет извлекать дополнительную информацию, которую человеческий

глаз не может увидеть. Каждая поверхность отражает часть света, которую он получает.

Объекты с различными поверхностными характеристиками отражают или поглощают излучение солнца по-разному. Отношение отраженного света к падающему свету известно как коэффициент отражения. Свойства отражающей способности растительности используются для получения индексов растительности.

В научной литературе опубликовано более 150 индексов растительности, самым популярным индексом является нормализованный вегетационный индекс – NDVI.

Индекс вычисляется по поглощению и отражению растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра.

Значения индекса для растительности лежат в диапазоне 0,20-0,95. Здоровое растение, в котором много хлорофилла и хорошая клеточная структура, активно поглощает красный свет и отражает ближний инфракрасный. Т.о. чем лучше развита растительность во время вегетации, тем выше значение **NDVI**.

В настоящее время широко используются мультиспектральные камеры Сентера и Секвойя с разными модификациями. Рассмотрим их по отдельности.

**Камера Сентера куад** является одной из самых легких по массе, имеет компактный и высокопроизводительный мультиспектральный датчик. Он способен распознавать шесть конкретных полос света, а также измерять полноэкранный цветовую модель RGB или ред, грин, блу – красный, зеленый, синий для создания цветных изображений.

**Камера Микасенс Ред эдж** одновременно захватывает пять дискретных спектральных диапазонов, что позволяет создавать индивидуальные индексы для определенных приложений.

**Камера Сентера Дабл фо к сенсор как и Секвойя** использует датчик освещенности. Сенсор освещенности передает информацию на камеру для корректировки снимка с учётом разности уровня света. В результате обработки специализированным софтом получаются точные спектральные снимки, не зависящие от погодных условий, таких как солнечно, облачно или пасмурно.

**Секвойя** проводит высокодетальную съемку в видимом диапазоне и мультиспектральную с сенсором освещенности в четырех каналах – зеленый, красный, канал «красного склона» и ближний инфракрасный.

К наземному дистанционному мониторингу относят проксимальное почвенное зондирование. ППЗ основано на непрерывном измерении пространственных изменений почвенных показателей в режиме реального времени с использованием датчиков, сенсоров, установленных на сельскохозяйственной технике и оборудовании.

**Различают следующие бесконтактные датчики:**

**Ультразвуковые, применяются для определения высоты штанги опрыскивателя относительно земли.** Система позволяет работать на

высоких скоростях без риска повреждения штанги и сохраняя при этом оптимальную высоту над обрабатываемой поверхностью.

**Лазерные датчики, которые обеспечивают определение дозы дифференцированного внесения азота и регуляторов роста.** На рынке представлены системы датчиков, работающие на основе рефлексии видимого света и лазерных лучей. В достаточной степени богатые азотом посевы, благодаря более высокому содержанию хлорофилла, имеют иной спектр рефлексии, чем менее обеспеченные. Прибор с фотодиодами устанавливается на крышу трактора, и он на ходу измеряет интенсивность падающего на посев света и отражение абсорбированной его части. С помощью добавочного датчика инфракрасного света определяют биологическую массу.

Точные измерения с интервалом в одну секунду передаются в терминал установленный в кабине трактора. Одновременно происходят измерение и обработка данных, полученных справа и слева от трактора площадью до 70 м<sup>2</sup>

**Датчики, измеряющие сопротивление изгибу используются при корректировке дозы внесения удобрения на поле.** Сопротивление стеблестоя изгибу измеряют с помощью датчиков, работающих по механическому принципу физического маятника. На передней части трактора крепится маятник, с помощью которого на постоянной высоте измеряют силу сопротивления растений при их отклонении от вертикального положения. В зависимости от угла отклонения маятника и установленных при калибровке коэффициентов, бортовой компьютер вычисляет биомассу растений и содержание в них азота. Полученные значения передаются на контроллер опрыскивателя или разбрасывателя удобрений.

**Оптические датчики оценки зеленой массы применяются для внесения неселективных гербицидов на паровых полях.**

Оптические или оптоэлектронные датчики работают по принципу отражения. При этом необходимо учитывать тот факт, что отражение света почвой отличается от отражения растениями. Величина отношения отражения в инфракрасной области к красной для почвы составляет от одного до 1,5, а для зеленых растений от 6 до 15. Сорняк будет обнаружен, даже если занимаемая им площадь 1см<sup>2</sup>, после чего подается корректирующий сигнал к системе вылива. Технология применяется при внесении неселективных гербицидов на парах, в плодовых садах и виноградниках для уничтожения очагов сорняков.

### ***«Беспилотные авиационные системы и нормативно-правовая база их использования»***

Беспилотные летательные аппараты в последнее время используются все чаще для разного вида работ и количество их постоянно растет. При этом такие аппараты больше всего используются в военном деле, и его доля составляет 60%, в обеспечении безопасности – 20% и всего 14 % в

гражданской и коммерческой деятельности, куда включено и сельское хозяйство.

При этом следует обратить внимание, что любой беспилотный летательный аппарат – не просто полезная «игрушка», а прежде всего воздушное судно, на использование которого распространяются соответствующие авиационные правила.

Легальное определение беспилотного летательного аппарата содержится в Воздушном кодексе РФ. При этом стоит учесть, что в Воздушном кодексе законодатель оперирует понятием «воздушное судно». Так, под беспилотным воздушным судном понимается воздушное судно, управляемое, контролируемое в полете пилотом, находящимся вне борта т.е. внешний пилот.

Нормативно-правовая база также включает:

- ФЗ от 03 июля 2016 №291-ФЗ «О внесении изменений в воздушный кодекс РФ»

- Постановление Правительства РФ от 11 марта 2010 г. N 138 «Об утверждении федеральных правил использования воздушного пространства РФ»

- Приказ Министерства транспорта РФ от 16 января 2012 г. N 6 Об утверждении федеральных авиационных правил «Организация планирования использования воздушного пространства РФ»

- Приказ Министерства транспорта РФ от 24 января 2013 г. N 13 Об утверждении табеля сообщений о движении воздушных судов в РФ

- Приказ Министерства транспорта РФ от 27 июня 2011 г. N 171 Об утверждении инструкции по разработке, установлению, введению и снятию временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений и ряд других документов.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 мая 2019 г. № 658 утверждены Правила учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 до 30 кг, ввезенных или произведенных в Российской Федерации. За непостановку или несвоевременную постановку на учет беспилотного летательного аппарата наступает юридическая ответственность.

Для постановки на учет требуется:

- фотография беспилотника;
- заявление о постановке на учет со сведениями о беспилотном воздушном судне и его технических характеристиках;
- тип беспилотного воздушного судна, присвоенный производителем;
- серийный идентификационный номер, количество установленных двигателей и их вид
- и информация об изготовителе беспилотного воздушного судна.

Образец полученного уведомления о постановке на учет беспилотных летательных аппаратов Башкирского ГАУ представлено на слайде.

На учет имеют право ставить юридические лица, индивидуальные предприниматели и физические лица.

Юридические лица представляют в заявлении полное наименование организации, основной государственный регистрационный номер, ИНН и адрес;

Индивидуальные предприниматели указывают ФИО, основной государственный регистрационный номер индивидуального предпринимателя, ИНН и адрес места жительства;

Физические лица также указывают ФИО, дату и место рождения, страховой номер индивидуального лицевого счета, номер, серию и дату выдачи документа удостоверяющего личность и адрес места жительства.

Для выполнения полётов установлен разрешительный порядок использования воздушного пространства, независимо от класса в котором выполняется полёт.

Разрешительный порядок использования воздушного пространства предусматривает направление в оперативные органы Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации представленного плана полёта, а также получение разрешения центра на использование воздушного пространства. Структура единой системы управления воздушным движением разбивает территорию РФ на зоны ответственности органов воздушного движения, которые осуществляют разрешения и контроль на использование воздушного пространства всеми участниками воздушного движения.

Процедура разрешающая полет беспилотника включает следующий порядок:

- оформление заявки в Росавиации; после ее рассмотрения, владелец дрона получит разрешение на съемку или же заявление будет отклонено;
- перед использованием не позже чем за сутки государственным органам должен быть предоставлен маршрут будущего полета;
- за несколько часов до полета, владелец беспилотника обязан оповестить диспетчера о предстоящем полете;
- в процессе взлета и посадки все действия следует оговаривать с диспетчером.

*При необходимости использования воздушного пространства над населенным пунктом пользователю воздушного пространства в соответствии с пунктом 49 федеральных правил использования воздушного пространства РФ дополнительно необходимо получить разрешение органа местного самоуправления населенного пункта.*

Надо иметь ввиду, что информация о полете хранится в базе учета в течение всего срока нахождения беспилотного воздушного судна на учете и в течение 10 лет после снятия с учета.

Также предусмотрена ответственность за нарушение правил использования воздушного пространства, согласно Административного кодекса Российской Федерации. Для обычных граждан это штраф *от 20 до 50 тысяч рублей*, для должностных – *от 100 до 150*, для юридических лиц – *от 250 до 300 тысяч рублей*.

На рынке труда появилась новая профессия «оператор по управлению беспилотными летательными аппаратами». Вопросы о целесообразности применения данной технологии, и ее жизнеспособности уже не обсуждаются, все эксперты пытаются провести экономические прогнозы развития данной технологии. Например, по результатам составленных прогнозов, коммерческое применение беспилотников приведет к 2025 г. к созданию в США 100 000 дополнительных рабочих мест, а национальная экономика получит более млрд.

Применение беспилотных технологий поможет увеличить ВВП стран в несколько раз.

Увеличивается рост производства беспилотных летательных аппаратов российского производства по сравнению с прошлыми периодами. Однако наибольший успех в разработках и производстве беспилотников добились

- США–64%
- Франция–9%
- Израиль–5 %
- Япония, Канада, Швеция по 4 %
- Великобритания по 3%
- Китай, Россия, Корея и Австрия по 1 %

Анализ законодательных инициатив, данных стран показывает, что вопросам правового регулирования беспилотников, уделяется серьезное внимание. В зависимости от подходов, применяемых государствами в использовании беспилотников, можно условно разделить на три группы:

**Первая** – это государства, законодательство которых полностью запрещает приобретение, ввоз и использование беспилотников.

**Второе**, государства, политика которых допускает свободное их использование.

**Третье**, государства, разрешающие использование беспилотников при условии их регистрации, лицензирования и (или) сертификации.

Рассмотрим требования по использованию беспилотных авиационных систем в ряде стран мира.

**В США регистрации подлежат беспилотные летательные аппараты** массой от 0,25 до 25 кг.

На регистрацию имеют право:

- гражданин страны и гражданин иностранного государства с правом проживания на территории страны;
- юрлицо, организованное в соответствии с законодательством США или любого государства, если оно основано и функционирует на территории страны.

**Нормативно-правовая документация включает** Федеральный закон для судов некоммерческого назначения и Воздушный кодекс, для судов весом менее 55 фунтов (25 кг) коммерческого назначения

**Есть особенности при регистрации беспилотника во Франции.**  
**Подлежат регистрации летательные аппараты** массой от 800 г на портале AlphaTango. Для этого необходимо получить регистрационный номер,

который должен быть постоянно виден на дроне и читаться на расстоянии 30 см невооруженным глазом и находиться в зоне прямой видимости во время полета.

Запрещаются: полеты ночью без разрешения, над людьми, аэропортами, частной собственностью, военными объектами, тюрьмами, атомными электростанциями, историческими памятниками или нацпарками, над пожарами, аварийными зонами или вокруг аварийных служб

Также выше 150 м или выше 50 м над любым объектом или зданием, высота которого составляет 100 м и более.

В Канаде регистрации подлежат аппараты массой от 0,25 до 25 кг  
При пилотировании предъявляются следующие требования:

- находиться в зоне прямой видимости во время полета;
- высота полета не более 122 м;
- min расстояние во время полета до объектов инфраструктуры 30 м;
- запрещено летать на расстоянии менее 5,6 км от аэропортов и 1,9 км от вертодромов;
- при применении в коммерческих целях требуется специальный сертификат полета.

Надо отметить, что законодательство многих стран в сфере правового регулирования сводится к следующей модели:

- в основной нормативный правовой акт по вопросам использования воздушного пространства - включены общие нормы о порядке использования беспилотного летательного аппарата;
- отдельные вопросы, связанные с регистрацией, согласованием плана-графика полета, получением разрешения – регулируются специальным документом как стандарт или регламент.

### **«Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве»**

За последние годы уровень интереса представителей сельскохозяйственной отрасли к инновационным технологиям заметно вырос. Одна из распространённых инноваций в этой области - использование беспилотных летательных аппаратов при ведении адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Применение беспилотников условно можно разделить на три направления:

Первое – Аэромониторинг сельскохозяйственных объектов и посевов.

Второе – Внесение жидких биологических и химических растворов.

Третье – Внесение энтомофагов, сухих смесей, семян сельскохозяйственных культур.

Аэромониторинг сельскохозяйственных объектов и посевов включает: Аэрофото и видеосъемку с.-х. угодий и контроль за полями и пастбищами. Аэрофотосъемка необходима для выявления проплешин, учета количества растений и выявление сорняков, болезней, гибели урожая после воздействия природных факторов и других дефектов, нуждающихся в своевременном

устранении. Обеспечивается аудит и инвентаризация земель, оценка индекса вегетации растений, прогнозирование урожайности и анализ состояния почв по агрохимическим показателям. Аэрофотосъемка с дрона более детальная, чем съемка со спутника, за счет небольшой высоты полета. Кроме того, беспилотные системы позволяют снимать даже в условиях порывистого ветра и облачности. Производительность летательного аппарата при видеосъемке достигает 30 км<sup>2</sup> за 1 час, что существенно снижает временные и финансовые затраты по сравнению с использованием наземных видов обследования или пилотируемой авиации.

Опрыскиванием или распылением гранул можно вносить все биологические и химические микро и макроудобрения, средства защиты растений от вредителей и болезней, стимуляторы роста и др.

Широкое распространение приобретает и экологически безопасное использование отдельных видов энтомофагов, таких как Трихограмма, Габробракон, Златоглазка, подбор которых производится исходя из стадии роста растений, а также видов и развития популяции вредителей. Применение находит также при определении мест расположения мышиных колоний, грызунов с использованием аэрофотосъемки и последующее точечное внесение ядохимикатов по оптимальному маршруту карт-заданий.

Преимуществом применения «беспилотников» является возможность их использования на любых культурах, в т.ч. высокорослых, в условиях сложного рельефа местности и на переувлажненных почвах осадками, исключая использование наземной техники.

Самой главной уникальностью применения беспилотников является экономия времени агронома при высокой скорости исследований и визуального анализа.

Использование БПЛА не требует наличия технологических проездов на поле, взлетно-посадочных полос, не уплотняется почва, значительно снижается вредное воздействие химикатов на растения и окружающую среду, контроль полей в местах недоступных для наземной техники в периоды весенней распутицы, паводка, подтопления, возможность работы в ночное время суток с инфракрасными и тепловыми камерами для выявления большого количества вредителей.

Надо отметить некоторые недостатки при работе с БПЛА. К ним можно отнести необходимость получения специального разрешения на полеты, о механизме получения разрешения на полеты мы говорили в предыдущих наших лекциях. Имеется ограничение дальности полета из-за невысоких возможностей аккумуляторов и требуется наличие профессиональных качеств оператора и программного обеспечения для точности съемки.

Беспилотные летательные аппараты произвели настоящую революцию в сельском хозяйстве, позволяя специалистам агрономических и агрохимических служб автоматизировать рутинные процессы, которые ранее отнимали много времени и средств. К этим мероприятиям можно отнести распознавание и подсчет густоты стояния культурных растений и сорняков, используя искусственный интеллект. Данная технология широко

применяется на кукурузе, подсолнечнике, сое и других зерновых культурах. Можно с точностью рассчитать количество продуктивных культурных растений на погонном и квадратном метре, рассчитать среднюю урожайность выращенной продукции.

Компьютерное зрение и искусственный интеллект позволяет идентифицировать сорные растения и определить их порог вредоносности. Данная функция применима также при определении вредителей и болезней культурных растений. Беспилотник осуществляет полет на небольшой высоте и проводит фотосъемку сверхвысокого разрешения в автоматическом режиме и в последующем программа идентифицирует растения вплоть до семейства и названия растения. Особенно актуально это становится при борьбе с карантинными сорными растениями и борщевиком Сосновским.

Полученные материалы могут интегрироваться в историю поля для визуализации на карте результатов распознавания снимков по полям, определения их с разными уровнями засоренности и принятия решений по технологиям борьбы с ними. В том числе, формирование рекомендаций по баковым смесям в зависимости от наличия средств защиты растений в базе и оптимальным срокам обработок для хозяйства с учетом климатических условий. Соответственно обеспечение контроля сроков выполнения обработок.

Окончательное решение в применении традиционных или беспилотных технологий ложатся на руководителя сельскохозяйственной организации и агрономических служб. Классические способы обработки включают в себя использование навесных и самоходных опрыскивателей, а также малой авиации. Они привычны, однако ряд недостатков, с которыми сталкиваются аграрии, заставляют искать новые решения. Эти методы рассчитаны для обработки больших территорий в кратчайшие сроки и призваны упростить ведение полевых работ. Но нужно учитывать неподъемную стоимость самоходной техники для малых сельскохозяйственных предприятий, вынужденные простои из-за дождливой погоды, потерю посевных площадей из-за следов от опрыскивателя — до 6%, большой расход воды и химикатов, нагрузку на почву и переуплотнение, также расходы на содержание самой техники.

У малой авиации большая погрешность распыления, высокие риски сноса пестицидов на чужие поля, что могут привести к ожогам культуры, гибель насекомых-опылителей и т.д., но и конечно дефицит специалистов и техники.

В то же время надо признать высокую производительность самоходных машин и малой авиации.

В последние годы проводилось много экспериментов с работой беспилотников на полях крупных холдингов и научно-образовательных учреждений Кубани, Белгородской и Тюменской областей, Республики Башкортостан и Татарстан. Многие теоретические прогнозы получили статистическое и практическое обоснование. Подтверждением

положительного результата исследований становится растущее количество хозяйств, внедряющих в рабочий процесс БПЛА.

Отличительная способность беспилотников в обработке культур – это возможность ультромалообъемного опрыскивания, которое обеспечивает хорошее покрытие даже нижней стороны листьев за счет турбулентности воздуха и высокой дисперсности генерируемого аэрозоля и, за счет этого эффекта, существенное, даже на порядок, снижение расхода рабочего раствора. А это заметно снижает как стоимость химикатов, так и токсические нагрузки на сельхозгодия.

Возможность точечного опрыскивания участков распространения сорняков или болезней, а также очагов появления вредителей. Такие места могут иметь малые размеры – несколько процентов от общей площади поля, но являться рассадниками для всей агрокультуры. Выпускать в поле наземный опрыскиватель ради обработки нескольких процентов площади экономически не целесообразно, а вот БПЛА придутся к месту. Особенно незаменимы они внесении удобрений на ограниченных участках поля, сильно отличающихся по уровню плодородия от основного массива. Для больших же площадей актуальным может оказаться внесение микроудобрений, в том числе в соответствии с потребностями растений в тех или иных частях поля. Для обработки и подкормки высокорослых культур и рисовых полей, БПЛА очевидно является сверхэкономичной заменой малой авиации.

В заключение хочется отметить, что ряд технических особенностей не позволяют рассматривать БПЛА как полную замену традиционному внесению удобрений и средств защиты растений.

## **Определение границ полей и локальный отбор проб в системе координат**

Агрохимическое обследование полей и законодательная база.

Методика проведения комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий.

Автоматизация аналитической оценки агрохимических данных.

### *«Агрохимическое обследование и законодательная база»*

Нормативно-правовой базой землепользования и управления плодородием почв является федеральный закон № 101-ФЗ от 16 июля 1998 г. «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».

Настоящий Федеральный закон устанавливает правовые основы государственного регулирования обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения при осуществлении собственниками, владельцами, пользователями, в том числе арендаторами, земельных участков хозяйственной деятельности, где основными направлениями являются:

- 1) Правила государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- 2) Правила представления собственникам, владельцам и пользователям земельных участков информации о состоянии плодородия их участков;
- 3) Положение о государственном контроле воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- 4) Порядок лицензирования деятельности по агрохимическому сервису;
- 5) Порядок государственного нормирования состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения;
- 6) Порядок подготовки национального доклада о состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения, мерах государственной поддержки и государственного регулирования в области обеспечения плодородия земель этого типа.

В дополнение к федеральному закону принято положение о государственной агрохимической службе Министерства сельского хозяйства Российской Федерации как о специализированной службе, обеспечивающей оценку состояния плодородия, государственный учет плодородия сельскохозяйственных угодий и государственный контроль за воспроизводством почвенного плодородия. В Российской Федерации агрохимическую службу обеспечивают 108 центров и станций во всех федеральных округах.

Агрохимический анализ почвы проводится с целью определения степени ее обеспеченности основными элементами минерального питания,

установления ее механического состава, водородного показателя и степени насыщения органическим веществом, т. е. тех элементов, которые определяют уровень плодородия.

Он отражает состояние почвы по следующим основным показателям:

– бактериологические: индекс бактерии группы кишечной палочки, т.е. количественное содержание их в 1 г почвы, индекс энтерококков, содержание бактерий рода энтерококки в 1 г почвы, патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы;

– макроэлементы: подвижный фосфор, обменный калий, азот нитратов и азот аммонийный;

– микроэлементы: кобальт, марганец, медь, железо, молибден, цинк, никель;

– токсичные элементы: кадмий, свинец, хром, ртуть, мышьяк, бензапирен и нефтепродукты;

– агрохимические: рН-кислотность, органическое вещество, гранулометрический состав, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований и содержание нитратов.

Основными задачами агрохимического обследования почв являются:

1) Своевременное выявление изменений состояния плодородия сельскохозяйственных угодий;

2) Оценка, прогноз и принятие необходимых мер по сохранению и улучшению плодородия почв;

3) Разработка рекомендаций по эффективному использованию земель с.-х. назначения, предупреждению и устранению последствий негативных процессов;

4) Информационное обеспечение земельного кадастра и государственного контроля почвенного плодородия и охраны земель.

В соответствии с частью третьей статьи 15 федерального закона "О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения" принято постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. N 325 "Об утверждении положения о формировании планов проведения почвенных, геоботанических и других обследований земель сельскохозяйственного назначения, а также о проведении таких обследований" которое предусматривает порядок формирования планов проведения федеральными государственными бюджетными учреждениями, подведомственными Министерству сельского хозяйства Российской Федерации, вышесказанных обследований земель сельскохозяйственного назначения, периодичность обследований, а также порядок и объем их проведения.

Различают следующие виды обследований:

**Почвенное обследование** проводится в целях сбора информации о плодородии почв и его изменении, в том числе при деградации земель сельскохозяйственного назначения, не реже 1 раза в 15 лет

**Геоботаническое обследование** проводится на сельскохозяйственных угодьях, занятых естественными и улучшенными сенокосами и пастбищами,

в целях определения их состояния, объема производства и качества природных кормов, не реже 1 раза в 15 лет

**Агрохимическое обследование** проводится в целях сбора информации об изменении агрохимических показателей плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, не реже 1 раза в 5 лет

**Эколого-токсикологическое обследование** проводится в целях сбора информации об уровне загрязнения земель сельскохозяйственного назначения радионуклидами, тяжелыми металлами, а также о содержании остаточного количества пестицидов и нефтепродуктов, не реже 1 раза в 5 лет

**Агрохимическое и эколого-токсикологическое обследования** проводятся одновременно.

**Фитосанитарное обследование** проводится в целях сбора информации о распространении, численности, интенсивности развития и вредоносности организмов, а также в целях анализа, оценки и прогноза фитосанитарной обстановки, ежегодно в вегетационный период

Анализ почвы – включает основные этапы.

1 этап - это сбор проб почв с автоматическим или ручным способом с прикреплением GPS координат.

Широко применяется метод **«конверта»** или **деление на элементарные участки**, где отбор проб проводится с угла и центра или в **форме буквы «Z»** или **«M»** соответственно. В зависимости от целей исследования можно отобрать образцы послойно с каждого генетического горизонта.

**При отборе почвенных образцов немаловажное значение имеет срок, т.к.** содержание подвижных форм элементов питания в почве имеет сезонную динамику. **При разных сроках отбора проб одна и та же почва** может оказаться в разных группах по обеспеченности ее элементами питания. При определении срока взятия образцов необходимо **учесть время внесения удобрений** - образцы берут до их внесения, состояние поля - удобнее работать на поле без растительности и соответственно наличие рабочей силы.

**С учетом всего этого почвенные образцы** отбирают ранней весной, как только почва достигает **физической спелости** или **осенью**, сразу после уборки урожая.

Если образцы не удалось взять до внесения удобрений, их отбирают спустя 2–3 месяца после их внесения. **Например, при внесении в почву навоза или компоста весной образцы** следует отбирать при малых нормах удобрений осенью, а при больших – на следующий год.

**2 этап – анализ почвы**, проводится в аккредитованной почвенно-химической лаборатории для получения точных и репрезентативных результатов.

**Завершающим 3 этапом** является составление аналитической записки с разъяснением результатов исследования и составление картографической и справочной документации по повышению плодородия почв.

Все собственники, владельцы, пользователи, в том числе арендаторы, земельных участков обязаны:

- осуществлять производство сельскохозяйственной продукции способами, обеспечивающими воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также исключая или ограничивающими неблагоприятное воздействие такой деятельности на окружающую среду;

- соблюдать стандарты, нормы, нормативы, правила и регламенты проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных и противоэрозионных мероприятий;

- представлять в установленном порядке в соответствующие органы исполнительной власти сведения об использовании агрохимикатов и пестицидов;

- содействовать проведению почвенного, агрохимического, фитосанитарного и эколого-токсикологического обследований земель сельскохозяйственного назначения;

- информировать соответствующие органы исполнительной власти о фактах деградации земель сельскохозяйственного назначения и загрязнения почв на земельных участках, находящихся в их владении или пользовании;

- выполнять другие обязанности, предусмотренные законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, законами и иными нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, а также нормативными правовыми актами органов местного самоуправления.

**В заключение хочу отметить,** что согласно Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях невыполнение установленных требований и обязательных мероприятий по улучшению, защите земель и охране почв от ветровой, водной эрозии и предотвращению других процессов и иного негативного воздействия на окружающую среду, ухудшающих качественное состояние земель, предусмотрены штрафы:

- на граждан в размере от 20 тысяч до 50 тысяч рублей;
- на должностных лиц - от 50 тысяч до 100 тысяч рублей;
- на юридических лиц - от 400 тысяч до 700 тысяч рублей.

#### ***«Методика проведения комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий»***

Комплексное агрохимическое обследование почв сельскохозяйственных угодий проводится с целью оценки изменения плодородия почв, характера и уровня их загрязнения под воздействием антропогенных факторов, создания банков данных полей, проведения сплошной сертификации земельных участков почв.

Комплексный мониторинг должен осуществляться путем сплошного обследования с использованием современных средств инструментально-аналитической и вычислительной техники и дистанционных методов на всех

типах сельскохозяйственных угодий – пашня, в т.ч. орошаемая и осушенная, кормовые угодья, многолетние насаждения, плантации и залежь.

Картографической основой для проведения агрохимического обследования является план внутрихозяйственного землеустройства с нанесенными контурами земельных участков и с указанием их кадастровых номеров, типов, подтипов и гранулометрического состава почв.

В лесотундрово-северотаежной, среднетаежной, южнотаежно-лесной, лесостепной и степной зонах и в горных областях полевое агрохимическое обследование проводят в масштабе 1:10000 и 1:25000; в сухостепной и полупустынной зонах — в масштабе 1:25000. Допускается уменьшение масштаба до 1:50000 при условии четкого выделения на картографической основе всех земельных участков сельскохозяйственных угодий. На орошаемых или осушенных землях обследование проводят в масштабе 1:5000 -1:10000.

Составной частью обследования сельхозугодий является проведение визуального контроля, где уточняются и наносятся на план землепользования размещение сельскохозяйственных культур и их состояние; соответствие конфигурации, границы полей, площади, кадастровый номер земельного участка, выраженность макро-, мезо- и микрорельефа, эродированность, закустаренность, залуженность и засоренность; отмечаются поля, на которых проводилась химическая мелиорация почв и внесение высоких доз органических и минеральных удобрений, а также изменения в ситуации, например новые дороги, лесопосадки и т.д. Все эти данные заносятся в «Журнал агрохимического обследования почв...» и отмечаются в плане землепользования. Вторым вариантом, могут быть электронные карты полей, представляющие собой набор данных по слоям, дающие полную и объективную информацию о ее характеристиках и реальных границах с сантиметровой точностью в обменных форматах ГИС.

Электронные карты можно сделать наземным путем, т.е. объездом полей с GPS приемником с использованием высокоточных поправок, с помощью беспилотных летательных аппаратов также с GPS приемником, результаты съемки обрабатываются в специальной программе и затем по снимкам отрисовываются контуры полей и аналогичная отрисовка контуров полей выполняется по данным спутниковых съемок. Самая высокая производительность отрисовка контуров полей по спутниковым снимкам, далее БПЛА и наземный обход. В то же время, наиболее высокая точность работы при наземном объезде полей, которая составляет до 10 см, а по данным спутниковых снимков до 1 метра.

При подготовке картографического материала к полевым работам с уточненного плана землепользования делают выкопировку фрагмента на который наносят сетку элементарных участков. Или же, например, в программе Field Rover можно "наложить" сетку на полученный контур поля, переместить ее до оптимального положения в зависимости от площадей и зафиксировать. В результате чего получается карта поля, разбитого на

пронумерованные элементарные участки заданной формы и размера. Поле готово к отбору проб.

Элементарный участок – это наименьшая площадь, которую можно охарактеризовать данными анализа одного смешанного образца почвы.

Смешанный почвенный образец состоит из определенного количества индивидуальных проб. Основным требованием к отбору почвенных проб является получение репрезентативного среднего образца. Неправильно отобранные образцы будут искажать агрохимическую характеристику почв и обесценивать рекомендации по применению удобрений и химических мелиорантов. В зоне развития почв дерновоподзолистого ряда, смешанный образец состоит из 40 индивидуальных точечных проб; в зоне серых лесных почв – из 30; во всех остальных зонах – из 20 индивидуальных проб. Индивидуальные почвенные пробы отбирают буром на глубину пахотного слоя до 30 см, на сенокосах и пастбищах – на глубину гумусового горизонта. На дерново-подзолистых почвах отбирают образцы только тростьевым буром или аналогом соответствующий этому буру. На остальных типах почв можно пользоваться бурами различных конструкций при соблюдении указанного числа точечных проб для составления объединенной пробы.

В настоящее время для автоматизации и ускорения процесса используют автоматические пробоотборники почв. Об автоматизации отбора проб мы поговорим в следующей лекции.

Репрезентативность отбора во всех случаях повышается за счет увеличения количества индивидуальных проб (уколов), а не увеличения массы единичной пробы. Масса смешанного образца почвы составляет не менее 300 г.

Конфигурация элементарного участка должна иметь форму квадрат или прямоугольника с отношением сторон не более 2:1 и нумерация участков по всему хозяйству.

Площадь элементарного участка и количество взятия образцов зависят от пестроты почвенного покрова, его плодородия и удобрённости поля. В таблице представлены данные максимально допустимой площади для регионов в зависимости от типов почв и годового уровня применения фосфорных удобрений, рекомендуемые государственным стандартом и методическими указаниями по комплексному агрохимическому анализу почв.

По классике в поле работу начинают с разбивки обследуемого поля на элементарные участки, т.е. с перенесения ранее выделенных участков в плане землепользования на поле.

Для отбора индивидуальных почвенных проб можно пользоваться «ходом по оси» вдоль длинной стороны элементарного участка. Внутри элементарного участка можно пользоваться схемой в форме «М» для репрезентативности отбора образцов.

На средне- и сильноэродированных почвах, расположенных на склоне длиной 200 м, маршрутные ходы прокладывают вдоль склона, на более

коротких – поперек. На полях лесных питомников маршрутные ходы прокладывают по диагонали элементарного участка.

При отборе индивидуальных почвенных проб необходимо избегать нехарактерных мест. Отбор не допускается вблизи дорог, из-под оставшихся куч минеральных и органических удобрений, мелиорантов, со дна развальных борозд, перепаханных дорог, промоин, участков с нетипичным развитием растений.

Отобранную в пределах элементарного участка смешанную пробу помещают в специальный мешочек или картонную коробку. Туда же вкладывают этикетку, на которой простым карандашом должны быть указаны название хозяйства, севооборот, поле, культура, номер образца, дата его отбора, фамилия и инициалы взявшего пробу. Такую же запись делают в полевом журнале, в котором, кроме того, отмечают характеристику и особенности рельефа элементарного участка, тип почвы, виды и состояние агроценоза, наличие сорняков.

Смешанные образцы, отобранные с элементарного участка, отправляют в агрохимическую лабораторию, где их высушивают до воздушно-сухого состояния и проводят лабораторный анализ.

Периодичность агрохимического обследования почв дифференцируют в различных природно-сельскохозяйственных зонах Российской Федерации в зависимости от мелиоративного состояния сельскохозяйственных угодий, специализации сельскохозяйственного производства и уровня применения удобрений:

- для хозяйств, применяющих ежегодно более 60 кг/га д.в. по каждому виду минеральных удобрений (азотные, фосфорные, калийные), – 5 лет, менее 60 кг – соответственно через 6-7 лет;

- для орошаемых и осушенных сельскохозяйственных угодий, а также для госсортучастков, опытных и экспериментальных хозяйств НИИ и сельскохозяйственных учебных заведений (независимо от объемов применяемых удобрений) – 3 года;

- по заявкам хозяйств на договорной основе допускается сокращение сроков между повторными обследованиями.

По завершении работ агрохимического обследования почв хозяйству вместе со схемой участков передают паспорта полей или паспортные ведомости, а также агрохимические карты.

Паспорт поля служит исходным документом для составления проекта внесения удобрений и химических мелиорантов, учета их количества для планирования урожайности, а также оценки экологического состояния почв.

### ***«Автоматизация аналитической оценки агрохимических данных»***

Применение современного оборудования, программных продуктов и новых методов в условиях цифровой экономики обеспечивает принципиально новый подход к проведению агрохимического обследования полей.

В настоящее время для автоматизации и ускорения процесса используют автоматические пробоотборники почв, установленные на автомобили пикап, прицепы, тракторы и четырехколесные квадроциклы. Кроме того, транспортное средство оснащается GPS-приемником и мобильным компьютером с загруженной электронной картой и маршрутами отбора, номерами элементарных участков позволяющим фиксировать в полевых условиях координаты точек взятия проб для возможного восстановления маршрута и последующего ретроспективного мониторинга. Соответственно, полевой компьютер должен быть пыле- и влагозащищенным, устойчив к тряске.

Пробоотборник, который устанавливается на квадроцикл маневрен и высокопроизводителен, не оставляет следов при ранневесеннем отборе проб почв. В то же время Недостаток квадроцикла – отсутствие комфортных условий работы для специалиста и необходимость еще одного транспортного средства для его перевозки к месту его работы.

На автомобиле пикап обеспечивается маневренность при отборе проб с полей, расположенных на значительном расстоянии друг от друга и комфортные условия работы специалиста. Недостаток заключается в том, что при работе ранней весной оставляет колею на увлажненной почве. Применение автомобильного прицепа и трактора трудоемко, невысокая производительность и чрезмерное уплотнение почвы.

Методика обследования почв состоит из следующих этапов:

- создание контура поля с точностью GPS-приемника;
- разбивка поля на элементарные участки заданной площади или размера;
- отбор и маркировка проб;
- агрохимический анализ в аккредитованной лаборатории;
- визуализация и анализ результатов в геоинформационной системе.

Мелкомасштабная неоднородность почв по глубине и площади является одним из основных ограничительных факторов получения точных результатов почвенных анализов. Поэтому важнейшей задачей является планирование отбора проб.

Для учета неоднородности распределения питательных веществ, следует отбирать 2–4 пробы с 1 га, чтобы после этого интерполировать полученные данные на всю площадь. Экономически это очень невыгодно, поэтому обычно отбор одной пробы проводят от 5 до 10 гектаров.

На рынке сельскохозяйственной техники предлагаются 2 типа пробоотборника почв:

Первое – сверлильного типа, с буром в виде сверла, вращающегося при погружении. Они способны осуществлять забор грунта на глубине до 30 см, извлекая его в течение 3–5 секунд.

Второе – ударного типа, с буром, вбивающимся в почву посредством ударной гидравлической станции, а затем проворачивающимся на 100

градусов. Они могут работать с разделением и смешиванием слоев, погружаясь на глубину до 90 см.

Несмотря на некоторую разницу в конструкции, оба варианта имеют схожий принцип действия. Во время работы, пустотелый бур погружается в почву, одновременно набирая ее, а при возвратном движении специальные скребки стряхивают грунт в один из металлических ящиков. Собранная почва пересыпается вручную в маркированную тару.

Отдельным видом рассматриваются скоростные пробоотборники, способные отбирать почвенные пробы на глубине до 30 см непосредственно во время поездки на скорости от 3 до 12 км/ч. Во время движения техники, щуп, расположенный на поворотном кронштейне, отводится вперед, выдвигается и входит в землю, набирая почву. В момент принятия кронштейном вертикального положения щуп втягивается, опорожняясь в специальные воронки, и возвращается к новому циклу забора грунта.

В зависимости от модификации, автоматические пробоотборники приводятся в действие собственным силовым гидроблоком, электрическим приводом с подачей питания через бортовую цепь транспорта, приводом помпы двигателя или посредством комбинации гидравлической помпы и электродвигателя. Управление агрегатом осуществляется через блок управления, установленного в кабине оператора.

Прорывным моментом в агрохимическом обследовании является внедрение роботизированной технологии от компании «РобоПРОБ». Технология основана на применении цифровых решений на практике и относится к перспективной технологии IoT (айот). В роботизированный комплекс или агробот на базе вездехода RoboProb загружается электронная карта местности с заранее определенными точками пробоотбора. RoboProb перемещается по полю по заданному маршруту по координатам от одной точки отбора к другой. Конструкция шасси позволяет производить отбор почвенных проб по залежи, по стерне, по вспашке и по вегетации с.-х. культур. Таким образом, минимизируется влияние «человеческого» фактора, максимально повышается достоверность почвенной пробы при значимом увеличении производительности ее отбора.

Электронная схема полей хранится и обрабатывается в ГИС-программах, в которых на каждое поле автоматически наносится растровая сетка или сетка элементарных участков прямоугольной формы.

В дальнейшем при следующем агрохимическом обследовании необходимо использовать уже наложенную сетку элементарных участков, чтобы в динамике проследить изменение каждого элемента и оценить состояние плодородия каждого участка. В программе присваивается уникальный номер для автоматического внесения результатов анализов из лаборатории и построения картограмм исследуемых элементов.

Внутри каждого элементарного участка в программе прорисовывается трек движения пробоотборника по диагонали или зигзагом. Он представляет собой зигзагообразный маршрут отбора, двигаясь по которому специалист будет выполнять уколы автоматическим пробоотборником.

Основное требование к отбору почвенных проб состоит в том, что они должны отбираться с четкой привязкой к координатам, по составленным маршрутам и с постоянной заданной глубиной в зависимости от поставленных задач и вида угодий на 30 или 60 см, на рисовых полях – 20 см.

Программное обеспечение позволяет также осуществлять навигацию по отмеченному в бортовом компьютере маршруту отбора на поле. Одним из популярных программных продуктов для работы в комплексе с пробоотборником является программное обеспечение Геоплан компании Геомир. Специалист на пробоотборнике двигается строго по предварительно созданным трекам, которые отображаются на экране полевого компьютера, и выполняет отбор. Движение по треку корректируется с помощью GPS-антенны.

Отобранные и маркированные образцы (пробы) передаются в аккредитованную агрохимическую лабораторию для анализа.

Полученные данные из лаборатории обрабатываются специалистами-агрохимиками, которые рассчитывают норму вносимых удобрений для каждого элементарного участка в зависимости от плановой урожайности культур. При расчете учитываются параметры удобрения и максимальные дозы на внесение удобрений. После расчета доз удобрений получается карта-задание, в параметрах которой уже просчитано, какое количество удобрений потребуется для внесения на данное поле и сколько это будет стоить в рублях, а также сколько можно сэкономить удобрений в сравнении с равномерным внесением по всему полю (рис. 3.21). В специальных агрономических программах составляются карты для дифференцированного внесения удобрений. Все данные предоставляются как на бумажном носителе, так и в электронном виде для работы с терминалами техники.

Созданные карты дифференцированного внесения удобрений через флеш-накопитель переносятся в бортовые терминалы сельскохозяйственной техники, которые по ним автоматически управляют заслонками распределителя удобрений.

Таким образом, в заключение можно сделать следующие выводы:

- отбор проб осуществляется автоматическим пробоотборником, по классической методике – ручным буром;
- место отбора проб почвы определяется с помощью навигационного оборудования, координаты точки отбора фиксируются с точностью до 15–30 см, по традиционной методике место отбора точно не фиксируется;
- составление картограмм с помощью специализированного программного обеспечения в автоматизированном режиме с учетом пестроты почвенного плодородия, прежде – составление картограмм вручную и на все поле;
- расчет доз, норм, затрат на удобрения производится автоматически с помощью специализированного программного обеспечения, традиционно – вручную по известным методикам с помощью программ в учебно-научных учреждениях и консультационных центрах;

– на каждый участок поля удобрения вносятся дифференцированно по потребности растений в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания, по обычной методике вносятся усредненные дозы, что вызывает либо перерасход удобрений, либо их недостаток по участкам поля;

– снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет точного и адресного внесения удобрений в соответствии с потребностями растений, экономия средств и ресурсов.

## Программное обеспечение точного земледелия

Электронные карты полей  
Методы и технические средства мониторинга сельхозугодий и полевых работ  
Программное обеспечение для контроля и управления производством

### *«Электронные карты полей»*

Анализ и оценка состояния сельскохозяйственных угодий являются основой точного земледелия и предполагают сбор, хранение, обработку и анализ огромного количества информации, привязанной к конкретным участкам земли. Одним из лучших способов организации информации о сельскохозяйственных угодьях является электронная карта. Эти карты являются основой для организации всех данных по хозяйству и позволяют автоматизировать (полностью или частично) процессы обработки данных: ведение истории полей, планирование севооборотов, разработка агротехнических мероприятий, оценка расходов и доходов, логистика, оперативное создание заданий для механизаторов, генерирование различных отчетов, быстрое создание новых карт по имеющимся данным путем раскрашивания и редактирования старых. Таким образом, электронная карта сокращает затраты времени на рутинную работу, уменьшает количество ошибок (за счет структурирования информации), предоставляет удобные инструменты для принятия решений.

Электронные карты бывают растровыми и векторными. Растровая представляет собой цифровое изображение, получаемое путем сканирования обычной бумажной карты, т.е. является ее копией. Особенность такой карты в том, что сканируемый файл имеет большой объем, и внести в него какие-либо новые данные, кроме отображения, практически невозможно.

Векторная карта представляет собой базу данных, в которой хранится информация об объектах карты в виде их графического и атрибутивного описания. Атрибутивное описание включает в себя такие данные, как высота дерева, ширина дороги, скорость течения реки, название населенного пункта, улицы, адрес дома и тому подобное, графическое – определяет контуры объектов (в общем случае криволинейные), представляя их, как правило, ломаными линиями, цвета, стили линий для линейных объектов и характер заполнения для площадных.

Преимущество электронной векторной карты полей по сравнению с «бумажной» в том, что каждый ее объект полностью автономен. Он может редактироваться отдельно от других объектов, и к каждому из них может быть привязан широкий ряд характеристик. Структурированная таким образом информация (в специальном программном обеспечении) является основой для создания современной системы управления сельским хозяйством.

**Электронные карты полей имеют широкую функциональность:**

— во-первых, они дают возможность вести строгий учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, поскольку опирается на точные знания: площадей полей, протяженности дорог, информации о полях;

— во-вторых, электронная карта помогает провести более полный анализ условий, влияющих на рост растений на данном конкретном поле;

— также электронная карта служит оптимизации производства с целью получения максимальной прибыли, а также рационального использования всех участвующих в производстве ресурсов.

Как же составляются карты полей? С момента появления технологии электронных карт полей было разработано множество методик, среди которых группа наземных методов и использование спутников для составления цифровых карт полей. Обе группы методов по-своему эффективны и применяются довольно широко.

Рассмотрим основные способы создания Электронной карты полей

**1 способ Наземный объезд контуров с высокоточным GPS приемником** выполняется с установленным на машине GPS приемнике с использованием высокоточных поправок. Результаты объезда обрабатываются в специальной программе и формируются контура полей.

Производительность замеров полей 1 000 - 2 000 га в день, в зависимости от погодных условий, состояния полей, площади поля и наличия препятствий в поле (деревья, столбы, овраги, болота), а также от технических характеристик автотранспортного средства. Точность данного способа до 10 см., в зависимости от используемых поправок.

**2 способ Съёмка полей с помощью беспилотника и отрисовка контуров по снимкам.**

В данном способе выполняется съёмка полей с помощью беспилотных летательных аппаратов с установленным высокоточным GPS приемником, результаты съёмки обрабатываются в специальной программе и затем по снимкам отрисовываются контуры полей.

Производительность данного способа 3 000-5 000 га в день, в зависимости от расположения полей и метеоусловий. Помимо электронной карты полей также можно получить актуальные снимки полей, полученные по результатам аэрофотосъёмки. Точность данного способа до 20 см.

**3 способ Заказ платных спутниковых снимков и отрисовка контуров по ним.**

На заданный район расположения полей подбираются оптимальные платные спутниковые снимки высокого разрешения. По приобретенным снимкам в специальной программе выполняется отрисовка контуров полей.

Производительность данного способа до 10 000 га в день. Точность данного способа до 1 м., в зависимости от используемых спутниковых снимков.

Электронная карта полей создается один раз и со временем становится все более детальной (по мере насыщения базы данных, добавления новых объектов и рабочих пометок на карту). Данные по севообороту также можно ежегодно корректировать.

**По космическим снимкам технологическая схема создания цифрового картматериала сельхозназначения включает в себя несколько этапов:**

1 этап **Подготовительные работы.** Он включают в себя

(Сбор основных и дополнительных материалов;

Разработку технических проектов;

Приобретение космических снимков)

2 этап Построение ортофотопланов

включают в себя Набор опорных точек камерально;

Построение матрицы высот по картматериалам;

Ортотрансформирование снимков)

3 Этап Создание цифрового картматериала включает в себя

(Камеральное дешифрование ортофотопланов;

Редакторский просмотр и приемка ортофотопланов;

И Непосредственное Создание цифрового картматериала)

**Электронные карты полей позволяют:**

1. Наглядное отображение всех производственных участков с учетом их географического положения.

2. Отображение информации по полям, производственного номера и площади поля.

3. Создавать базы данных по полям – электронного журнала агронома.

4. Использовать карты в программных продуктах: История поля, ГИС Карта, ArcGis, QGis, FarmWorks

5. Использования карт в системах мониторинга: Автограф, Скаут, Wialon

6. Использовать карты в мобильных приложениях для работы с ними в полях

7. Наложить матрицы высот с возможностью просмотра уклона поля в любом интересующем месте

8. Напечатать карту вашего поля, как целиком, так и отдельными фрагментами

9. Производить поиск полей по различным критериям.

Структурированная таким образом информация (в специальном программном обеспечении) является основой для создания современной системы управления сельским хозяйством.

Электронная карта полей определяет реальные границы и площади сельхозугодий, что, в свою очередь влияет на расчет необходимых удобрений и учет урожая. Разница между реальным размером сельхозугодий и размером, известным агроному или руководителю, может составлять до 20%.

Важной является задача по поддержанию созданных электронных карт в актуальном состоянии. С течением времени границы полей меняются, поэтому необходимо периодически хотя бы 1 раз в год корректировать их, чтобы они соответствовали реально обрабатываемым площадям.

Понять, что поле нуждается в корректировке можно по данным треков полевых работ (при использовании систем мониторинга техники), либо путем повторных обмеров полей одним из вышеуказанных способов.

Без актуализации ошибки в контурах с каждым годом будут нарастать

Одновременно с созданием электронных карт полей также создается отдельный слой «Кадастровые участки». Создание отдельного слоя «Кадастровые участки» необходимо для анализа расхождения реальной обрабатываемой площади поля и его документальных границ. Чтобы можно было проанализировать за счет каких участков на поле идёт отклонение в меньшую или большую сторону по сравнению с реальной площадью. Определение неиспользуемых земель при наложении кадастровой карты на реальные границы полей позволяет добавить их в севооборот и в кратчайшие сроки получить дополнительную прибыль с них.

Также слой «Кадастровые участки» очень удобен для юристов организации, так как на нем можно оперативно найти на карте нужный участок, определить право собственности на него и идентифицировать точные границы при возникновении спорных ситуаций с соседними сельхозпроизводителями.

#### **Возможности кадастрового слоя:**

Визуализация всех земельных участков в одном окне.

Возможность поиска участков по различным параметрам.

Возможность внесения дополнительной информации в паспорта, помимо той, что предусмотрена Росреестром.

Наложение кадастровой карты на производственные границы полей и определение неиспользуемых земель.

Создание тематических карт по виду правовой принадлежности участков.

Электронные карты полей являются незаменимым инструментом современных сельскохозяйственных производителей во всем мире. Они являются основой точного земледелия. Практически все современные технологии в сельском хозяйстве требуют их наличия. Поэтому задача по их созданию должна быть первоочередной при стремлении повысить эффективность своего производства.

### ***«Методы и технические средства мониторинга сельхозугодий и полевых работ»***

Классификация способов сбора данных для мониторинга состояния посевов представлена на. Следует отметить, что методы и технические средства сбора измерительной информации одинаковы для обоих направлений – наземных и дистанционных. Отличия возникают на дальнейших этапах – при обработке, анализе и интерпретации данных.

Схема отражает классификацию способов мониторинга как по методу получения информации – дистанционно или непосредственно в поле, так и

по технологии выполнения измерений – с помощью приборов либо визуально. При этом предполагается, что дистанционные средства, как воздушные, так и космические, являются беспилотными, т. е. управляются с земли.

К наземным техническим средствам, используемым при реализации инструментальных полевых методов мониторинга, относятся метеостанции, мобильные агрохимические лаборатории, системы высева семян, влагомеры, спектрометры.

С помощью **Метеостанции** производят измерение температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, атмосферного давления, количества осадков за различные периоды времени, ультрафиолетовой и солнечной радиации. Эти измерения можно использовать для прогнозирования заболеваний растений, расчета коэффициентов испарения.

**Влагомеры** используются разных типов – термостатно-весовые, тензометрические, радиоактивные, электрические, оптические.

Принцип действия прибора Wile 55 основан на определении емкостного сопротивления зерна. Прибор одновременно проводит несколько десятков измерений, а потом выдает на дисплей усредненный результат.

Ручные спектрометры (например, GreenSeeker) – датчики азота.

Устройство оснащено оптическими датчиками, каждый из которых имеет свой источник света и может использоваться при любых погодных условиях и времени суток. Излучение этих источников света в красном и ближнем инфракрасном диапазоне отражается от растений и попадает на фотодиод, расположенный в головной части датчика. Таким образом, измеряется индекс NDVI, характеризующий объем биомассы, по значениям которого в режиме реального времени может быть рассчитана доза азотных удобрений для конкретного участка посевов.

Оборудование **Мобильных агрохимических лабораторий** позволяет определять основные параметры химического состава почвы непосредственно в поле.

Многие современные посевные комплексы оснащены аппаратно программными системами, регистрирующими в реальном времени данные о процессе посева (расход семян, расстояние между соседними точками посева и др.). Так, универсальная система высева семян контролирует процесс работы посевного комплекса и представляет оператору информацию по измеряемым технологическим параметрам и исправности оборудования, что позволяет своевременно принимать необходимые меры для обеспечения качества посева и предотвращения выхода из строя оборудования.

Аппаратно-программные системы, разработанные фирмой МС Elettronics позволяют своевременно обнаруживать забивание сошников, отключать их при проезде по уже засеянной зоне, контролировать уровень посевного материала и удобрений в бункерах; управлять нормой высева, управлять блокировкой рядов во время посева.

**Система картирования урожайности** - это аппаратно-программная система, измеряющая и фиксирующая объем и влажность зерна, собранного с каждой единицы площади поля.

В результате система создает карту урожайности, позволяющую определить общую массу собранного с конкретного поля зерна, а также выявить вариации урожайности в пределах одного поля. Схема системы картирования и карта урожайности могут служить основой при планировании агрохимического обследования почв и для создания аппликационных картограмм внесения удобрений.

Система мониторинга сельхозтехники представляет собой автоматический комплекс, состоящий из бортового контроллера и набора датчиков, устанавливаемых на транспортное средство, а также программного обеспечения на офисном компьютере, на котором будет осуществляться контроль расхода топлива и перемещения сельхозтехники в режиме реального времени. Помимо решения задачи контроля выполнения производственного задания система позволяет измерять и регистрировать ряд важных для оценки качества полевых работ параметров: скорость и траекторию движения сельскохозяйственного агрегата по полю и др.

**Космические** Методы мониторинга основаны на регистрации бортовой аппаратурой излучения участка поверхности Земли, отраженного либо собственного.

Космические методы ДЗЗ имеют ряд преимуществ по сравнению с наземными:

- возможность съемки за короткий промежуток времени большого участка земной поверхности;
- отсутствие необходимости перемещения по посевам людей и техники с целью контроля их состояния.

Однако ряд обстоятельств, обусловленных спецификой сельскохозяйственного производства, затрудняет их применение:

- съемки посевов необходимо выполнять в сравнительно короткие (несколько суток) промежутки времени, они «привязаны» к вегетационным фазам, поскольку именно в эти периоды могут быть приняты и реализованы решения о проведении, например, пересева, подкормки, обработки гербицидами и т. п. Однако полностью быть уверенными в получении данных с космических аппаратов ДЗЗ нельзя, так как невозможно гарантировать, что в заданный отрезок времени соответствующий космический аппарат пройдет над обследуемым районом либо, что особенно вероятно для хозяйств средней полосы России, интересующий участок не будет закрыт облачностью;

- изображения Земли в общем случае позволяют определить только некие условные относительные характеристики состояния посевов – цветовые либо тоновые контрасты, вегетационные индексы и тому подобное; для получения физических величин этих характеристик – объема биомассы, количества сорняков, типа вредителей и прочего – необходимо проведение наземных калибровочных обследований;

– вследствие чрезвычайного разнообразия факторов, влияющих на спектральные и геометрические характеристики получаемых с космических аппаратов ДЗЗ изображений посевов, не создан архив параметрических эталонных образцов, сравнение с которыми позволило бы идентифицировать состояние посевов без наземных обследований.

Актуальную проблему облачности при съемках из космоса пытаются решать с помощью локаторов бокового обзора, облучающих поверхность Земли в сверхвысокочастотном диапазоне, с последующим синтезированием изображения. Однако эти изображения имеют минимальную ценность для сельского хозяйства, поскольку содержат ограниченную специфическую информацию о полях.

В целом космические методы мониторинга посевов в настоящее время достаточно широко применяются для:

- создания электронных карт сельхозугодий;
- обнаружения и картирования районов засухи, затоплений, поражений вредителями и др.;
- качественной оценки состояния озимых;
- расчета индексов типа NDVI с последующим пересчетом в биомассу.

При этом идет интенсивная работа по исследованию и практическому применению результатов измерения спектральных характеристик растений, посевов, определению их состояния и выработке рекомендаций по внесению удобрений и др.

На слайде приведены основные характеристики ряда космических аппаратов ДЗЗ, используемых для мониторинга сельскохозяйственных угодий.

Воздушные средства имеют ряд важных преимуществ перед космическими:

- высокое разрешение снимков, недостижимое при съемках из космоса;
- возможность проведения съемок при любой облачности, так как обычно полеты выполняются на высоте нескольких сотен метров, т. е. ниже границы облаков.

Однако БПЛА сильно уступают космическим аппаратам ДЗЗ по производительности – площади съемки поверхности Земли за единицу времени.

Использование беспилотников как средств мониторинга посевов и контроля выполнения полевых операций сельскохозяйственной техникой зависит от их типа (самолетные и вертолетные). БПЛА самолетного типа летают с гораздо большей скоростью, чем дроны, и применяются для наблюдения больших площадей сельхозугодий.

На слайде приведены некоторые характеристики ряда приборов аппаратуры наблюдения, устанавливаемой на БПЛА.

Устанавливаемые на БПЛА современные фото- и видеокамеры позволяют получать цветные и черно-белые изображения поверхности земли с разрешением несколько сантиметров и довольно высокого качества.

Однако они имеют один общий весьма существенный недостаток: основное предназначение этих камер – получение синтезированных изображений объектов с последующим их визуальным просмотром. При этом отдельные каналы, из которых синтезируются цветные изображения (как правило, это красный, зеленый и синий) не проходят калибровку, точно определяющую их ширину и чувствительность. Более того, во многих случаях эти каналы частично накладываются друг на друга. Эти обстоятельства сильно затрудняют количественный анализ изображений, основанный на цифровых методах обработки. Поэтому в настоящее время актуальны проблемы разработки методик цифрового анализа данных с фото- и видеокамер, а также формулирования требований к их техническим характеристикам, основанных на опыте обработки этих данных.

Применение спектрометров и гиперспектрометров в качестве бортовой аппаратуры наблюдения, устанавливаемой на БПЛА, упрощает проблему использования методов цифровой обработки изображений. Однако получение практически значимых результатов, в частности распознавание состояния растений, затруднено так же, как и при использовании космических аппаратов ДЗЗ, вследствие отсутствия библиотек параметрических эталонов спектральных образов растений.

В то же время можно отметить, что на этом направлении уже достигнуты конкретные результаты: накоплены цифровые модели состояний озимых культур (пшеница, рапс), распознавание которых позволяет корректно планировать операции подкормки и др.

Анализируя совокупность достоинств и недостатков всех описанных методов мониторинга, можно сделать достаточно очевидный вывод: целесообразно их совместное применение в задачах мониторинга, что в итоге позволит минимизировать недостатки и, напротив, получить синергический эффект.

### ***«Программное обеспечение для контроля и управления производством»***

Успешное ведение современным агропромышленным предприятием производственной деятельности практически невозможно без использования различных пакетов специального программного обеспечения, повышающего эффективность контроля и управления производством сельскохозяйственной продукции.

Основной целью специального программного обеспечения является повышение эффективности сельскохозяйственного производства.

Основные задачи: планирование и контроль выполнения технологических операций в растениеводстве; планирование и учет материально-технических, кадровых ресурсов предприятия; автоматизированная подготовка технологических карт и производственных заданий; привязка фотоснимков космических изображений, данных аэрофотосъемки и снимков полей к карте местности; мониторинг

сельхозтехники, сельскохозяйственных угодий, технологических операций; сбор, обработка и анализ информации о производственных процессах и задействованных в них объектах; ведение полевых журналов и расчеты потребности в семенах, СЗР, удобрениях; ведение данных по организационно-штатной структуре организации, а также технике и оборудованию; дистанционный сбор данных с полей посредством мобильных устройств.

Рассмотрим классификацию специального программного обеспечения. По срокам использования поддерживаемых процессов: стратегические – планирование севооборотов, размеров посевных площадей, планов приобретения техники; тактические – планирование технологического цикла работ конкретного сезона; – оперативные – корректировка сроков и содержания работ конкретного сезона.

По специализации пользователей специальные программные обеспечения подразделяются: для агронома; – агроменеджера; диспетчера гаража; бухгалтера.

Первым шагом на пути точного земледелия является создание электронных карт полей и прилегающей местности. Эти карты являются основой для организации всех данных по хозяйству и позволяют автоматизировать (полностью или частично) процессы обработки данных.

Для создания электронных карт чаще всего используется отечественное программное обеспечение «ГЕО-учетчик». Оно входит в состав аппаратно-программного комплекса для электронного учета сельскохозяйственных земель. Программа устанавливается на ноутбук с подключенной к нему высокоточной GPS-антенной. Для работы лучше использовать специальные полевые компьютеры.

GPS-антенна устанавливается на крышу автомобиля, и оператор объезжает на нем поля по периметру. При этом происходит запись границы поля в электронной карте программы в реальном времени. Кроме того, вводятся расстояния от GPS-антенны до границы поля, фиксируются местоположения любых объектов, находящихся внутри и вне поля (дороги, населенные пункты, лесополосы, столбы). Все это позволяет получить корректную фактическую площадь поля по GPS-данным.

Программное обеспечение «ГЕО-учетчик» обеспечивает решение следующих задач в полевых условиях: ввод в компьютер и фиксация результатов GPS-измерений; контроль качества вводимых GPS-данных по количеству используемых в работе спутников и геометрии их расположения; отображение на карте местности текущих координат (GPS-измерения) в реальном времени; передача данных на стационарный компьютер для дальнейшей обработки.

В офисе программное обеспечение «ГЕО-учетчик» обеспечивает решение следующих задач: создание карт полей в растровой и векторной форме; коррекция ранее созданных карт полей с уточнением их границ, объединением, перепланировкой и т. п.; измерение по карте расстояний и площадей, определение участков полей, обработанных сельскохозяйственной

техникой; ввод и коррекция сопроводительной информации по каждому полю.

Для организации полевых работ при выполнении агрохимического картирования в современной системе земледелия также существует ряд специализированных программ. Они позволяют увеличить производительность и уменьшить затраты времени и финансовых средств на выполнение поставленных задач.

Приложение «ГЕО-план» обладает по сравнению с программами большими функциональными возможностями, гибкостью настроек. Кроме того, программа является самостоятельным приложением, не требующим для работы других программ.

Назначение программы «ГЕО-план»: организация отбора почвенных проб при агрохимическом обследовании с помощью GPS (определение наилучшего места для взятия пробы, указание оператору направления движения и места остановки для отбора индивидуальных проб); нанесение фактических границ полей и местоположений сопутствующих объектов для создания электронных карт; фиксирование своего местоположения на местности в реальном времени и запись о проблемных участках сельскохозяйственных угодий; измерение на карте расстояний, площадей и редактирование объектов электронной карты.

Фактически отбор почвенных проб происходит в следующем порядке.

Поле объезжают по периметру с включенным оборудованием, при этом в режиме реального времени происходит запись месторасположения его границы. GPS-приемник может быть менее точным, так как границы почвенных контуров с разным содержанием элементов питания не столь четки и распределение удобрений происходит, как правило, с меньшей точностью.

На полученную кривую накладывается сетка с задаваемой оператором величиной ячеек. Сетка может быть наложена и на поле, видное на космическом снимке, который также можно подгрузить в программу.

Прокладывается маршрут следования машины для отбора проб. Мелкие ячейки сетки помогают определять места взятия индивидуальных проб. Опытные операторы могут обходиться без заранее проложенного маршрута по ячейкам сетки.

Оператор, контролируя свое положение на мониторе ноутбука, отбирает почвенные пробы в соответствии с проложенным маршрутом. При этом индивидуальные пробы в пределах одной большой (черной) ячейки, перемешиваются и превращаются в один смешанный почвенный образец, который передается в лабораторию для анализов.

Система мониторинга сельскохозяйственной техники представляет собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для получения достоверной информации о местонахождении в пространстве техники (трактора, автомашины, комбайны и др.) и дальнейшего анализа полученных данных на предмет повышения эффективности использования техники.

Программное обеспечение «ГЕО-мониторинг» входит в состав системы автоматизированного контроля маршрутов движения и функционирования подвижных объектов.

Система состоит из трех блоков:

- *программный GPS/GSM-терминал*, устанавливаемый на борту подвижного объекта и обеспечивающий сбор, накопление в памяти и передачу с заданной дискретностью данных о маршруте и функционировании транспортного средства (расход топлива, работа двигателя и др.);

- *серверный блок*, обеспечивающий прием информационных массивов со всех задействованных в работе терминалов, обработку этих массивов и хранение в базе данных;

- *автоматизированное рабочее место оператора* (диспетчера) системы контроля подвижных объектов.

С помощью программного обеспечения «ГЕО-мониторинг» решаются следующие задачи:

- отслеживание и отображение на карте местности маршрутов движения подвижных объектов;

- фиксация моментов начала и окончания движения;

- определение координат пунктов остановки и времени простоя;

- пройденный путь (обработанная площадь) и скорость движения;

- определение на основе измерений независимыми датчиками расхода горючего (остатка в баке);

- ведение базы данных подвижных объектов, на которых установлены терминалы.

Программное обеспечение «Панорама АГРО» является специализированной российской ГИС, обеспечивающей решение следующих задач:

- ведение базы нормативно-справочной документации;

- учет сельскохозяйственных угодий с привязкой к карте;

- ведение агрохимического мониторинга сельскохозяйственных угодий;

- обработка навигационных данных и контроль перемещений техники;

- планирование и учет фактических работ.

Ведение базы нормативно-справочной документации осуществляется средствами встроенной подсистемы «Список справочников».

Учет сельскохозяйственных угодий и мониторинг некоторых агрохимических свойств почв выполняются на основе геопространственной привязки данных. Средства экранной навигации позволяют при выборе поля на карте просматривать характеристики, и наоборот, при просмотре параметров сельскохозяйственных угодий оценивать их размещение на местности.

**Cropio** — это система дистанционного контроля сельскохозяйственных угодий, позволяющая осуществлять оперативный мониторинг состояния посевных площадей, автодокументирование, прогнозирование и

планирование сельскохозяйственных операций. По роду деятельности компания относится к операторам услуг спутникового мониторинга посевов.

Программное обеспечение Storіo позволяет:

- проводить мониторинг посевных площадей;
- получать прогноз погоды для каждого поля;
- проводить детальный анализ полевых работ;
- находить и выделять проблемные зоны на поле;
- проводить мониторинг техники и формировать задания на выполнение работ;
- рассчитывать оптимальные дозы удобрений;
- оперативно оповещать о важных событиях на поле;
- следить за новостями сельского хозяйства и рынка сельхозпродукции;
- формировать отчеты о состоянии и динамике изменений полей.

В основе работы системы заложена возможность отслеживать ситуацию на полях с сельскохозяйственными культурами, включая уровень вегетации, содержание ряда минеральных веществ, точные метеоусловия и прочие. Работа системы направлена на идентификацию индивидуальных особенностей каждого отдельного поля с целью повышения эффективности в урожайности и экономии расходов в процессе обработки поля.

Благодаря спектральным свойствам хлорофилла, пигмента, который обуславливает окраску растений в зеленый цвет, можно определить уровень вегетации растений. Спутники делают снимки в разных спектральных диапазонах, что позволяет зафиксировать уровень хлорофилла и при помощи специальной обработки рассчитать уровень вегетации в каждой точке снимка. Система Storіo автоматически проводит анализ и представляет готовый результат обработки в виде электронных карт вегетации и графиков. Уровень вегетации рассчитывается для каждого пикселя на полученных спутниковых фотоснимках. Фотоснимки полей обрабатываются и анализируются системой Storіo согласно прописанному алгоритму. Результаты анализа каждого поля представляются в виде электронной карты вегетации.

Для агрономов предназначена более подробная информация о полях – динамика их изменения, рекомендованные дозы удобрений, карты вегетации, графики изменения вегетации, история циклов вегетации за предыдущие годы влажность почвы, температура почвы, карта рельефа и дренажа, информация о погоде и осадках.

## **Прогнозирование и программирование урожайности сельскохозяйственных культур**

Точное земледелие как информационный элемент прогнозирования урожая.

Составление карт урожайности. Системы мониторинга урожайности.

Методы прогнозирования и программирования урожая.  
Информационно-аналитические модули оценки.

### ***«Точное земледелие как информационный элемент прогнозирования урожая»***

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, включающая в себя технологии глобального позиционирования, географические информационные системы, технологии оценки урожайности, переменного нормирования, дистанционного зондирования земли и направленная на получение максимального объема качественной и наиболее дешёвой сельскохозяйственной продукции с учетом норм экологической безопасности.

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

Комплексное точное земледелие имеет пять основных задач:

- 1) ведение агроландшафтной системы земледелия;
- 2) увеличение эффективности производства;
- 3) улучшение качества продукции;
- 4) более эффективное использование химикатов;
- 5) экономия энергоресурсов.

Базируется точное земледелие на трех основных элементах – информации, технологии и научном менеджменте.

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.

В 1995 г. в России была создана глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС, состоящая из 24 спутников, расположенных в трех плоскостях, высота орбит составила 19,4 тыс. км.

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

Китайская национальная навигационная система БИДО (COMPAS) эксплуатируется с декабря 2012 г. и продолжает развиваться. На орбиту выведены 16 навигационных спутников, из них по назначению используются 11. Точность позиционирования системы для гражданских пользователей составит 10 м, а точность передачи сигналов – 0,2 м/с.

Квазизенитная спутниковая система QZSS развивается космической промышленностью Японии с 2010 г., когда на орбиту был выведен первый спутник системы МИШИБИКИ

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.

Географическая информационная система обеспечивает сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственного координированных данных. ГИС предназначены для решения научных и прикладных задач инвентаризации, анализа, оценки, прогноза и управления окружающей средой и территориальной организацией общества. Они позволяют создавать базы данных с пространственной информацией.

Они включают: методы дистанционного зондирования земли, системы управления базами данных, системы глобального позиционирования, 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 и урожайности.

Обязательными модулями геоинформационной системы 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.

В зависимости от сложности задач и функционального предназначения ГИС может иметь мощное программное обеспечение и обрабатывать большие объемы информации, поступающей из разных источников. В сельскохозяйственном производстве используют упрощенные, менее мощные по программному обеспечению ГИС, включающие в себя персональный компьютер и требуемый набор пакетов программ, способных обрабатывать пространственно распределенную информацию и составлять карты, учитывающие свойства почв, урожайность культур. Среди них

зарубежные ГИС – MapInfo, ArcGIS, AtlasGIS, WinGIS, 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.

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.

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 усреднённой 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.

Анализ накоплений информации после картирования полей с использованием GPS-приемника осуществляется с помощью соответствующих программ, 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, оснащённой 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 аграрных ГИС основополагающими данными являются карты полей масштаба 1:10 000. 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. 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.

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

- на сбор данных;
- на мониторинг данных;
- на специальную технику для точного выполнения агроприемов и осуществления навигации.

При внедрении системы технологий точного земледелия необходимо учитывать предполагаемые затраты на каждую из них и многочисленные факторы и обстоятельства, которые в итоге обеспечивают эффект.

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 относят: 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.

### ***«Составление карт урожайности. Системы мониторинга урожайности»***

Картирование урожайности — это технология точного земледелия, призванная определить неоднородность главного из всех показателей — урожайности. С помощью специальных датчиков, установленных на комбайнах, а также используя бортовые компьютеры и приёмники GPS, в процессе уборки урожая можно получить пространственно-ориентированные

карты урожайности и влажности зерна. Получение подобных карт является неотъемлемой частью технологии точного земледелия и позволяет осуществлять прогноз урожайности.

Урожайность — совокупный показатель отклика поля на технологию выращивания культуры. Карта урожайности — источник получения ценной информации для агрономов и технологов.

Мониторинг урожайности лежит в основе анализа:

- реализации агрономического потенциала почв;
- эффективности использования ресурсов;
- экономической эффективности агропроизводства.

Карты урожайности могут использоваться для:

- построения карт дифференцированного внесения удобрений;
- составления карты точек забора проб для агрохимического анализа;
- выбора участков для исследований и тестовых посевов;
- создания карт валовой и чистой прибыли;
- расчета выноса питательных веществ из почвы.

Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур позволяет выявить ее неоднородность по каждой культуре в пределах поля и представить ее в формате цифровых карт. В них документируется, какие обеспечены показатели урожая на тех или иных участках поля и каков диапазон различий внутри одного поля.

Система картирования урожайности заключается в дифференцированном измерении урожайности в пределах поля в режиме реального времени и обработке данных на персональном компьютере.

Данные, которые записывает бортовой компьютер на комбайне во время уборки, переносятся на компьютер для создания карты урожайности. Существующее программное обеспечение в большинстве случаев позволяет не только составлять карты, но и экспортировать данные в различных форматах. Эти показатели находят разностороннее применение, например, в программах расчетов для таблиц и в банках данных.

Карты урожайности составляются как изокарты либо как точечные, растровые, карты относительной урожайности.

**Точечные карты урожайности** являются первоначальным этапом в составлении карты урожайности, на них указывают отдельные точки ее измерения. По степени окрашенности участков поля можно определить, где собран максимальный или низкий урожай.

Такие карты представляют лишь данные об урожайности в точках измерения. Для ее оценки на определенной площади поля необходимо интерполировать эти данные, т. е. связать показатели из разных точек измерения в процессе расчета. Для этого производят растровую разбивку площади.

Расстояние между центрами растровых клеток можно выбирать произвольно, но не менее ширины захвата уборочной техники. Для каждого центрального пункта растровой клетки оценивают урожайность по соседним показателям измерения. У точек, расположенных ближе к центру растровой

клетки, они имеют большее значение, чем показатели более удаленных точек. Результаты оценки урожайности в каждом центральном пункте растровой клетки распространяются на всю окружающую площадь до следующего растра. Таким образом составляются **растровые карты урожайности**. Квадраты вокруг центральных пунктов растровых клеток заполняют разными красками с помощью программного обеспечения. Размер растра выбирают в зависимости от цели использования карт. С его увеличением возрастает и число учтенных показателей измерения, следовательно, карта будет более «гладкой» и отдельные ошибочные значения станут неважными.

**Изокарты урожайности** также составляют с помощью интерполяции показателей урожайности. Изолинии на этих картах ограничивают площади с одинаковой урожайностью, что позволяет наглядно представить, какие участки конкретного поля различаются по урожайности и какова степень этих отличий.

Для максимальной точности сравнения карт урожайности разных лет или выращиваемых культур составляют карты **относительной урожайности**. При этом средний показатель урожайности поля соответствует показателю 100 %. Площади с более высокими или более низкими показателями урожайности окрашивают по-разному.

В зависимости от набора датчиков уборочной техники накопленные во время уборки данные измерений используют для составления других карт, например, влажности зерна, содержания протеина или сухой массы.

Поле по урожайности сельскохозяйственных культур характеризуется неоднородностью. Показатель урожайности зависит от многих факторов – наличия в почве влаги, питательных элементов, толщины гумусного горизонта, высоты расположения участка, освещенности и других.

При картировании урожайности поле рассматривается как совокупность элементарных участков. Показатели урожайности определяют на каждом элементарном участке поля с записью его координат.

Это оборудование может быть установлено практически на любой комбайн, эксплуатируемый не более 5 лет, и включает в себя следующие компоненты:

- приемник GPS, установленный на крышке кабины комбайна;
- оптический или магнитно-резонансный датчик, предназначенный для определения объемного количества зерна, устанавливается в зерновом элеваторе комбайна;
- диэлектрический датчик влажности – в тракте движения зерна или в специальном отводном канале;
- датчик поперечных и продольных отклонений – на передней оси комбайна;
- электронно-вычислительный модуль определения урожайности (Quantimeter);
- бортовую информационную систему (Кебис) (Cebis);
- карту памяти;
- калибратор;

– программу картографирования (AGRO-MAP).

По сравнению с полевыми культурами – зерновыми и техническими, специальные культуры – плодовые и овощные, обычно более чувствительны к условиям роста, их продукция имеет относительно высокую стоимость. В связи с этим специальные культуры предпочтительно возделывать в системе точного земледелия. До настоящего времени наиболее полные исследования были сосредоточены на зерновых культурах, а система применения точных методов к выращиванию специальных культур разработана неудовлетворительно. Это особенно касается мониторинга урожайности, который считается логически первым шагом в разработке системы точного земледелия.

Оценка урожайности у специальных культур осуществляется либо через модель, либо через системы прямого счета. Модели, которые используются для этого, обычно включают в себя несколько факторов, таких как история урожайности, общее количество деревьев и (или) площадь поверхности кроны. Мониторинг урожайности – это процесс измерения урожайности для данного места и его интеграции с полученной GPS-координатной информацией.

Монитор урожайности состоит из нескольких датчиков, основным является массовый, или объемный, датчик расхода. В зависимости от типа этот датчик измеряет объем или фактическую массу плода. Датчики рассчитывают урожай путем деления его массы, прошедшей через механическую уборочную машину в течение определенного времени, на покрытую площадь, с которой урожай был собран во время периода отбора проб. Для расчета площади, покрываемой машиной в течение заданного времени, монитор урожайности использует информацию от наземных датчиков скорости и показатель фактической рабочей ширины машины. С этими данными интегрируется информация о широте и долготе, получаемая от приемника GPS, она обычно собирается и хранится на карте памяти с частотой 1 Гц или более. Помимо динамики данных урожайности мониторы содержат очень полезную информацию, которую можно применять для других целей. Данные об урожайности можно использовать для получения информации, связанной с управлением машиной, например, эффективности использования поля, производительности оператора машины, общего времени простоя и фактического времени уборки. Информация о производительности машины может быть очень полезной в принятии подходящих управленческих решений для снижения затрат и повышения эффективности работы.

Типичным примером таких систем является разработанный Пеллетье и Упадхаей монитор урожая томатов, который измерял вес помидоров на ленте конвейера томатоуборочного комбайна. Датчик массового расхода этого монитора состоял из приводного ролика в центре и двух опорных, по одному с каждой стороны от весового ролика. Каждый комплект был установлен на шасси, а конвейерная лента располагалась над ними. Эти датчики были установлены вдоль конвейерной ленты.

Мониторинг урожайности специальных сельскохозяйственных культур является одной из основных составляющих точного земледелия. Получаемая информация необходима для количественного определения величины изменчивости урожайности в пределах поля.

**«Методы прогнозирования и программирования урожая.  
Информационно-аналитические модули оценки»**

Программируемая урожайность – уровень продуктивности культуры, который планируется получить на конкретном поле в соответствии с технологическими картами и основными агротехническими мероприятиями.

Планируемая урожайность характеризует продуктивность растений, под которую планируются все агротехнические мероприятия.

Задача программирования урожаев состоит в том, чтобы с учетом складывающихся погодных условий и материально-технических ресурсов хозяйства сформировать посевы, которые при минимальных затратах труда и средств обеспечивали бы наивысшую продуктивность.

**В основе программирования урожая лежат следующие принципы:**

*Физиологические* предусматривают формирование посевов с оптимальными показателями площади листьев, чистой продуктивности фотосинтеза, фотосинтетического потенциала и продуктивности ассимилирующей поверхности, обеспечивающих получение заданного урожая.

*Биологические* принципы связаны с оптимизацией водного, воздушного, теплового и пищевого режимов почв, с созданием автоматизированных систем регулируемого земледелия, с управляемыми факторами среды обитания растений и реализацией потенциальной продуктивности современных сортов сельскохозяйственных культур.

*Агрохимические* принципы предусматривают обоснование экономически оправданных доз удобрений для посевов заданной продуктивности с учетом агрохимических показателей почв, выноса питательных веществ урожаем, коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений.

*Агрометеорологические принципы* – это правильное использование климатических показателей для обоснования продуктивности посевов, прогнозирования условий вегетационного периода, полегания растений, а также появления вредителей и болезней.

*Агротехнические* принципы заключаются в разработке и внедрении оптимальных технологий возделывания культуры, обеспечивающих своевременное и высококачественное проведение всего комплекса работ с учетом биологических особенностей сорта.

К настоящему времени разработано множество математико-статистических моделей для прогнозирования урожая зерновых, кормовых и других культур в зависимости от основных факторов – показателей плодородия почвы, норм удобрений и орошения, приемов обработки почвы и ухода за посевами, климатических факторов, характера распределения

осадков по периодам вегетации и т. д. Хотя для этих функций характерны определенные ограничения (нельзя выйти за пределы той информации, которая заложена в исходной статистической выборке), они еще имеют широкое применение на практике.

*Программирование урожая* – это составление научно обоснованных технологических рекомендаций, обеспечивающих максимальный выход сельскохозяйственной продукции высокого качества. Как направление в агрономической науке оно объединяет достижения растениеводства, земледелия, агрохимии, почвоведения, физиологии растений, защиты растений, сельскохозяйственного машиностроения, физики, кибернетики, экономики сельского хозяйства и других сфер, предполагает развитие интегрированного системного подхода к оценке роли и значимости различных факторов среды и их взаимодействия в процессе формирования урожая.

Программирование урожая состоит из 3 этапов:

*Первый этап* – установление для определенной почвенно-климатической зоны лимитирующего комплекса факторов и обоснование величины возможного урожая на основе его моделирования.

*Второй этап* – обоснование комплекса агротехнических мероприятий. При этом выбирается конкретный количественный критерий эффективности производства.

*Третий этап* – обеспечение оперативных наблюдений за ходом формирования урожая и внесение необходимых уточнений в систему запланированных агротехнических мероприятий в соответствии со складывающейся агрометеорологической обстановкой. Благодаря оборудованию комбайнов бортовыми компьютерами учета урожая с привязкой к карте появилась возможность программирования урожая в производственных условиях. Разрабатываются модели множественной линейной регрессии зависимости урожайности от условий производства.

В России информатизация и компьютеризация земледелия и растениеводства на региональном уровне происходили в несколько этапов.

На слайде представлены уровни применения информационных технологий в земледелии.

Информационные технологии для точного земледелия предусматривают математическое моделирование продукционного процесса, использование в агромониторинге агрофизических методов, проведение системного анализа полученных моделей и создание информационносправочных систем по оптимизации землепользования, применению ГИС-технологий при проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия, разработке сельскохозяйственных баз данных.

Развитые информационно-управляющие системы являются обязательным атрибутом технологий точного земледелия. Они интегрирует все средства получения информации и управления в единую систему, обеспечивающую поддержку управленческих решений.

Информационные технологии в земледелии используются:

– для программирования урожаев, основанного на учете обобщенных почвенно-климатических показателей;

– для разработки динамических имитационных моделей.

Учесть все факторы, влияющие на формирование урожая в полевых условиях, очень трудно, а порой и невозможно. Выходной параметр такой функции – урожайность, обобщающая действие всех факторов; это произведение числа растений на единице площади на продуктивность одного растения. Максимальная урожайность достигается при оптимальном сочетании этих показателей. Таким образом, все сводится к выбору оптимальной величины и конфигурации площади питания для разных с.-х. культур с учетом зон их возделывания.

Производство сельхозпродукции на основе законченной модели системы дистанционного мониторинга, обеспечивающей информацией для принятия оптимальных управленческих решений, требует практического решения следующих типовых задач:

– мониторинг состояния и планирования использования земель;

– слежение за процессами развития негативных почвенных процессов;

– определение территорий оптимального ведения сельскохозяйственного производства на основе данных о почвах, климате, рельефе;

– контроль проведения технологических операций;

– мониторинг фитосанитарной и карантинной обстановки;

– точное определение площадей пашни, пастбищ и сенокосов;

– ведение и контроль севооборотов.

Существуют разные подходы к организации производственных процессов, рассчитанной на программируемую урожайность культур.

Организация производственных процессов, имеющая целью получение программируемой урожайности культур, предусматривает проведение следующих этапов.

1. Внутрихозяйственное проектирование землеустройства.
2. Проектирование севооборотов и полевой инфраструктуры.
3. Планирование урожайности сельскохозяйственных культур.
4. Проектирование технологий возделывания полевых культур.
5. Проектирование систем обработки почвы в системе севооборота.
6. Проектирование систем удобрения сельскохозяйственных культур.
7. Проектирование систем защиты растений.
8. Проектирование адаптивно-ландшафтной системы земледелия для земель различных агроэкологических групп.
9. Проектирование технологий возделывания полевых культур с использованием ГИС-технологий.
10. Техническое обеспечение проектируемых технологий.
11. Определение экономической эффективности проектируемого производства сельскохозяйственных культур.
12. Прогнозирование изменения регулируемых факторов на экономическую эффективность производства сельскохозяйственных культур.

Каждый раздел включает собственные элементы инновационных исследований.

Прогнозирование и программирование урожайности основано на обработке и оценке информационно-аналитических модулей потенциальной урожайности по показателям прихода ФАР и с комплексным учетом влагообеспеченности культуры, бонитета почв и лимитирующих почвенных условий.

С учетом прогнозируемой урожайности обрабатываются разработанные информационно-аналитические модули по расчету рациональных доз удобрений на рабочем участке с учетом закона минимума Либиха.

Предварительный расчет максимально возможной урожайности выбранной культуры на конкретном поле при учете всех лимитирующих факторов, позволяет более обоснованно задавать величину планируемого урожая. Нормативные данные автоматически считываются программой из специализированных баз данных.

После решения задачи рекомендуемые нормы минеральных удобрений на заданный урожай выводятся на экран и могут использоваться для последующей корректировки размера планируемого урожая, с учетом выводимых на экран лимитирующих факторов урожайности.

## Техническое обеспечение точного земледелия

Системы параллельного и автоматического вождения.

Применение систем технического зрения в точном земледелии.

Использование сенсорных датчиков.

Робототехника.

### *«Системы параллельного и автоматического вождения»*

Современное сельское хозяйство базируется на принципе точного земледелия - подходе к управлению сельскохозяйственным производством с помощью комплекса технологий для получения максимального урожая высокого качества и снижения издержек. Одной из таких технологий, позволяющей повысить качество и скорость обработки полей, при этом минимизировать влияние человеческого фактора, является система параллельного вождения.

Основная задача системы параллельного вождения - исключить пропуски и повторные проходы, то есть сделать так, чтобы при выполнении работ техника двигалась параллельно предыдущему проходу. Также система параллельного вождения обеспечивает безупречную точность в выполнении полевых работ, в том числе в условиях плохой видимости и в ночное время. В итоге повышается производительность труда, сокращается расход энергоресурсов и затрат. Система параллельного вождения работает на базе GPS/ГЛОНАСС мониторинга и включает в себя комплекс различного оборудования от курсоуказателя до системы автоматического вождения.

Система параллельного вождения сельскохозяйственных машин – это процесс управления направлением движения сельскохозяйственных машин по заданной траектории, в том числе с использованием курсоуказателя.

Курсоуказатель сельскохозяйственных машин – устройство, используемое для индикации отклонений фактической траектории их движения от заданной при активном вождении объекта навигации.

Различают три вида системы параллельного вождения:

1) движение трактора корректируется водителем с помощью рулевого колеса, ориентирующегося на показания светодиодного или графического следоуказателя, расположенного в кабине;

В качестве курсоуказателя можно использовать любой дисплей линейки Trimble, но наиболее эффективными, на наш взгляд, по соотношению цена-качество являются последние два дисплея. Данные курсоуказатели успешно себя зарекомендовали при работе с опрыскивателями и разбрасывателями удобрений, с широкозахватными боронами, на операциях, не требующих высокой точности. Эти устройства позволяют выбрать оптимальный маршрут – как по прямым линиям, так и по кривым с любыми углами разворота.

2) направление движения трактора поддерживается подруливающим устройством с приводом от электродвигателя, который монтируется на рулевой колонке;

3) корректировку движения трактора осуществляет исполнительный механизм, подключенный к гидросистеме рулевого управления. В системе параллельного вождения возможно использование космических навигационных систем после установки на транспортное средство специального приемника, постоянно получающего сигналы о местоположении навигационных спутников и расстояниях до них.

Подруливающее устройство осуществляет автоматическое вождение сельскохозяйственной техники по сигналам, поступающим от системы параллельного вождения.

Рассмотрим некоторые примеры использования систем параллельного вождения. Так, система CFX-750 с сенсорным управлением обеспечивает навигацию, рулевое управление и включает набор функций точного земледелия.

Встроенный двухчастотный приемник позволяет работать с любым уровнем точности и совместим с системой ГЛОНАСС. К нему можно добавить подруливающее устройство или автопилот.

В дисплее также содержится набор компонентов, обеспечивающих действия, связанные с посевом, опрыскиванием, внесением удобрений и обработкой почвы, включая контроль затрат, связанных с полевыми работами.

Система Trimble CFX-750 состоит из следующих компонентов: дисплей, крепление и винты, краткое руководство пользователя, компакт-диск, кабель GPS-антенны, шина питания с кабелем, кабель питания, антенна и монтажные пластины.

Благодаря сенсорному экрану дисплея можно управлять работой системы и просматривать навигационную информацию.

Кроме того, он оснащен USB-портом, через который можно загружать и сохранять полученные данные.

На экране навигации отображаются текстовая рабочая информация и значки, что обеспечивает доступ к ней и к различным функциям системы.

На экране навигации отображаются текстовая рабочая информация и значки, что обеспечивает доступ к ней и к различным функциям системы. Доступность текста и значков зависит от ее настройки. Например, при использовании системы автоподруливания ряд значков может быть недоступен. В таблицах описаны основные предусмотренные на дисплее значки.

Терминал Track-Guide III предназначен для управления сельскохозяйственными устройствами, оснащенными вычислителями ISOBUS.

Элементы интерфейса, которая включает в себя меню выбора, главное меню, дополнительное окно и системные символы представлены на следующем рисунке.

Ниже представлен комплект оборудования (терминал, приемник, навигационный контроллер), устанавливаемый на трактор для обеспечения параллельного вождения.

Теперь рассмотрим **Системы автоматического вождения**

Автопилот – это автоматизированная система, которая производит управление рулем трактора или самоходной сельскохозяйственной машины при его движении по заданной траектории, в том числе с использованием географической навигационной системы (ГНСС). Различают автопилоты с гидравлическим и с электрическим исполнительными механизмами.

Преимущество автопилотирования от параллельного вождения заключается в том, что исключаются инертность и люфт рулевого управления.

Гидравлический клапан получает электрические сигналы от контроллера и преобразует их в гидравлические, которые система использует для удержания транспортного средства на заданном курсе. В дополнение на трактор устанавливается специальный датчик угла поворота колес.

В полный комплект оборудования для систем автоматического вождения входят:

- навигационный приемник;
- дисплей или светодиодная панель, контроллер для расчета отклонений на неровностях антенны приемника и корректировки направления движения;
- подруливающее устройство.

Системы параллельного вождения и автопилотирования помогают точно соблюдать расстояния между проходами машин при выполнении полевых работ. При их использовании технологические операции выполняются с минимальными перекрытиями, экономятся рабочее и машинное время, топливосмазочные материалы, семена, удобрения и средства защиты растений. Навигация очень удобна для опрыскивания, которое лучше проводить ночью, когда температура воздуха ниже, чем днем, и отсутствует ветер. Таким образом, преимуществами систем параллельного и автоматического вождения являются точность движения агрегатов по междурядьям; снижение нагрузки на тракториста (машиниста); возможность работы в темное время суток и в условиях плохой видимости.

На данном слайде мы видим **Испытания систем параллельного и автоматического вождения.**

На базе РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева проводились трехлетние исследования величин стыковых междурядий при посевах различных культур по маркеру и с использованием системы «Автопилот». В ходе исследований наблюдалась неодинаковая ширина стыковых междурядий между смежными проходами сеялок при посеве зерновых культур и вико-овсяной смеси по маркеру и автопилоту. Несмотря на сравнительно хорошие средние значения отклонений, посев ячменя по маркеру показал большее расхождение в параметрах стыковых междурядий – до 9,0 см. Такая нестыковка междурядий может иметь негативное значение, особенно при

выращивании пропашных культур. При использовании системы «Автопилот» таких существенных отклонений не наблюдалось. Что же касается работы автопилота на отвальном и минимальном фоне, то отклонения на последнем имеют меньшие значения, так как на более плотной почве управление трактором осуществляется легче.

Необходимо отметить еще одно важное достоинство системы «Автопилот» по сравнению с маркером. При работе по системе нулевой обработки почвы след от маркера, особенно в сумерки, не очень хорошо виден. «Автопилот» же позволяет работать в круглосуточном режиме. Это может существенно повысить эффективность работ в сельском хозяйстве: два механизатора могут работать по очереди на одном тракторе без перерыва 24 ч в сутки и проводить посевную в кратчайшие и сжатые агротехнические сроки.

На пропашных культурах помимо точной посадки требуется проведение междурядных обработок. Поэтому при использовании навигационных систем необходима высокая точность ведения агрегата.

В ходе испытаний была предпринята попытка адаптировать систему «Автопилот» под междурядную обработку картофеля. Был выбран участок на склоне, чтобы сделать работу автопилота более сложной.

Посадка картофеля осуществлялась картофелесажалкой GL-34T с использованием автопилота и маркера. Заданная с помощью системы GPS траектория движения агрегата повторялась на варианте точного земледелия в ходе проведения гребнеобразования по всходам картофеля. По традиционной технологии возделывания картофеля движением агрегата управлял механизатор. Ширина междурядий между проходами картофелесажалки при использовании маркера и автопилота отличалась по отдельным годам незначительно, составляя по традиционной технологии интервал в среднем от 60–65 до 80–85 см, т. е. отклонение от стандартного междурядья сажалки (75 см) находилось в пределах от –15 до +10 см. Применение системы «Автопилот» обеспечивало отклонение от прямолинейности смежных рядков от 2,8 до 3,0 см.

Проведение обработок с применением автопилота на основе системы GPS с корректировкой сигнала в режиме реального времени показывает высокую точность. Так, на вспашке критические отклонения свыше 8 см составили 7% случаев, на минимальной обработке – 2%. При посадке по маркеру и глазомерном гребнеобразовании критические отклонения встречаются чаще, соответственно в 39 и 26% случаев.

### ***«Применение систем технического зрения в точном земледелии. Использование сенсорных датчиков»***

Поскольку роботы не являются живыми организмами как человек, они не имеют глаз и мозга, и для получения визуальной информации им необходимы специальные технические сенсорные устройства, которые называются системами технического зрения. Именно системы технического

зрения позволяют роботам получать изображения рабочих объектов, преобразовывать их, обрабатывать и интерпретировать при помощи набора цифровых устройств, чтобы затем исполнительное устройство робота могло выполнить ту или иную работу.

Обычно системы технического зрения разделяют на две независимые подсистемы: **получения изображений** и их **обработки**. Каждая из них, в свою очередь, включает различный набор компонентов в зависимости от требований конкретной прикладной задачи. В систему обработки изображений входят: вычислитель и математические алгоритмы, в которых редко что-либо меняется, на практике необходим выбор их типов и последовательности и инструмент, который позволяет легко и удобно оперировать изображениями.

Типовое решение системы технического зрения включает в себя несколько следующих компонентов.

1. Одна или несколько цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные) с подходящей оптикой для получения изображений.

2. Программное обеспечение для изготовления изображений для обработки. Для аналоговых камер это оцифровщик изображений.

3. Процессор.

4. Программное обеспечение машинного зрения, которое предоставляет инструменты для разработки отдельных приложений.

5. Оборудование ввода-вывода или каналы связи для доклада о полученных результатах.

6. «Умная» камера: одно устройство, которое включает в себя все вышеперечисленные пункты.

7. Специализированные источники света (светодиоды, люминесцентные и галогенные лампы и т. д.)

8. Специфичные приложения программного обеспечения для обработки изображений и обнаружения соответствующих свойств.

9. Датчик синхронизации частей обнаружения для захвата и обработки изображений. В последнее время возрос интерес к использованию технического (машинного) зрения для получения информации о факторах, оказывающих влияние на производственный процесс.

В точном земледелии существуют следующие способы подучения информации об объекте

**Цифровые фотографические методы.** Технологии цифровой фотографии (ТЦФ) могут быть использованы для трехмерного изображения различных объектов с использованием технического зрения.

**Полусферическая фотография.** Ряд исследователей для получения параметров, характеризующих «архитектуру» кроны деревьев использовали полусферическую фотографию при помощи цифровой камеры с объективом «рыбий глаз». Использование такой камеры позволяет получать некоторые характеристики растений, такие как индекс листовой поверхности, слипание листьев с достаточной степенью точности.

**Стереозрение.** Компьютерное стереозрение предполагает извлечение 3D информации из цифровых изображений, аналогично цифровой камере с зарядовой связью (ПЗС). Метод обеспечивает наиболее реалистичное 3D изображение растений и древесных культур, очень похожих на видение человеческого глаза. Кроме того, стереозрение позволяет определять расстояние от камеры до объекта.

В настоящее время активнее начинает использоваться технология получения и обработки информации об удаленных объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах. Для этого используется лидар – световое обнаружение и определение дальности.

Как прибор, лидар представляет собой активный дальномер оптического диапазона. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трехмерную картину окружающего пространства.

Расстояние между датчиком и мишенью (например, лист или ветка) может быть измерено с помощью одного из двух методов: измерения времени, за которое лазерный импульс перемещается между датчиком и целью, или измерения разности фаз между падающим и отраженным лазером импульсом.

С помощью системы лидар, установленной на самоходной платформе, можно измерить плотность в лозах винограда. Сенсор создает цифровое 3D-изображение виноградной лозы. Эта информация используется для дифференцированного опрыскивания.

При подготовке участка для закладки плодовых насаждений почвообрабатывающие агрегаты оснащаются глубинными камерами на основе 3D-технологии для динамической характеристики микрорельефа почвы, что дает возможность исследовать в полевых условиях особенности микрорельефа одновременно с обработкой почвы.

Для получения информации о состоянии почвы, растений в настоящее время широко используется термография. Термография - это научный способ получения термограммы – изображения в инфракрасных лучах, показывающего картину распределения температурных полей. Интенсивность теплового излучения тела увеличивается с повышением его температуры, поэтому термография позволяет видеть распределение температуры по поверхности тела.

Недостаток воды в почве, слабое укоренение или болезни могут привести к повышению температуры. На Европейской конференции по точному сельскому хозяйству демонстрировалось тепловизионное картографирование с помощью самолета для дистанционного обнаружения стресса растений в пределах виноградника. На основе данных обеспечивалось орошение с переменной скоростью. Параллельно в полевых условиях для этой цели использовались ручные датчики.

Тепловая съемка может служить важным инструментом для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур.

Рассмотрим примеры применения машинного зрения.

**Определение свойств почвы.** Системы машинного зрения применяют для качественной и количественной оценки физико-механических и агротехнических свойств почвы как одного из важных факторов управления производственным процессом. Поскольку почва является динамической системой с быстрым изменением свойств, важно знать, как протекают эти процессы, чтобы более точно прогнозировать влияние на них природных и антропогенных факторов.

**Обнаружение сорняков и дифференцированное применение химических средств защиты растений.** Использование машинного зрения для обнаружения сорняков с целью дифференцированного применения средств защиты растений является наиболее распространенным в точном земледелии. Существуют два аспекта этой проблемы – обнаружение сорняков на поле среди культурных растений и определение конкретного вида среди остальных для применения соответствующего гербицида.

**Для обнаружения болезней** на начальной стадии заболевания растений наиболее подходящим является метод флуоресценции, так как состояние растения можно оценивать и по продуктивности фотосинтеза. По мере развития метаболических изменений грибок начинает распространяться радиально вокруг точки инфекции. Такие участки растения теряют пигментацию, в них прекращается процесс фотосинтеза, разрушаются клеточные стенки. Инфицированные участки некротизируются и становятся видимыми. Анализ отраженного света может помочь в обнаружении инфекции.

### **Рассмотрим Применение сенсорных датчиков**

Использование датчиков и сенсоров в сельскохозяйственной деятельности — важный шаг на пути к созданию интеллектуального сельхозпроизводства. Разнесенные на десятки квадратных километров, они могут непрерывно передавать по радиоканалам информацию о состоянии контролируемых объектов — в частности, значение таких параметров, как влажность, температура почвы и воздуха, уровень здоровья растения и т.д.

**Датчики глубины, принцип работы.** Для понимания эффективности фактической работы техники, контроля соблюдения установленных норм механизатором используют датчики глубины, отличающиеся принципом работы:

- ультразвуковой – определяет высоту расположения орудия над поверхностью земли;
- анализатор угла наклона – отображает информацию о том, заглублено орудие или нет;
- механический – наиболее точный датчик, показывающий глубину. Он не реагирует на возникающие помехи, но имеет более высокую стоимость.

Данные, получаемые с любого из этих датчиков, отображаются на раскрашенной по цветам карте, по которой можно отследить качество работы орудия на каждом участке поля.

Сейчас рассмотрим **Системы контроля высева и отчеты о посеве**. Системы мониторинга посева способны контролировать степень заглубления орудия, качество посева, давление в бункере и ряд других показателей. В их состав входят: Датчики потока семян, Модули сбора информации с анализаторов потока семян, Датчик заглубления сошников, Девятидюймовый сенсорный монитор с продублированными кнопками, Терминал мониторинга.

Возможности системы позволяют формировать отчеты по работе каждой сеялки с учетом уже выполненных или запланированных операций. Установка этих модулей дает возможность вести учет точного объема израсходованного посевного материала и оперативно принимать решения при появлении проблем.

**Датчики для комбайнов.** Для детального контроля комбайнов используют следующие виды датчиков: Датчик выгрузного шнека, Классический датчик уровня бункера, Усовершенствованный датчик уровня бункера мембранного типа, Модуль вращения мотовил, Датчик угла наклона.

Вся информация с датчиков выводится на мониторы диспетчеров вместе с графиками и тревогами. Визуальное отображение показателей на графиках позволяет быстро обрабатывать информацию и корректировать работу техники, чтобы сохранить или повысить объем собранного урожая. Благодаря комплексному применению датчиков на уборке можно определять с какого поля и комбайна поступил урожай на зерновоз и сколько далее пришло на весовую, где также фиксируется вес Брутто, тары и затем НЕТТО.

### ***«Робототехника»***

Сельское хозяйство быстро становится высокотехнологичной отраслью, которая привлекает новых специалистов, новые компании и новых инвесторов. В основе роботизации лежит необходимость значительно увеличить производственные урожаи. По оценкам ООН, численность населения в мире к 2050 году возрастет до 9,7 млрд. Потребуется гораздо больше продовольствия, и фермеры будут сталкиваться с серьезным давлением, чтобы не отставать от спроса.

Повысить рентабельность сельскохозяйственного производства возможно лишь за счет внедрения передовых технологий точного земледелия. В настоящее время на помощь спешат роботы, которые способны самостоятельно выполнять трудоемкие сельскохозяйственные операции. Сельскохозяйственные роботы автоматизируют медленные, повторяющиеся и монотонные задачи для фермеров, позволяя им больше сосредоточиться на улучшении общей производительности.

Некоторые из наиболее распространенных роботов в сельском хозяйстве используются для:

- Сбор урожая
- Контроль сорняков
- Автономное скашивание, обрезка, посев, опрыскивание и т.д.

- Сортировка и упаковка.

Предлагается классифицировать сельскохозяйственную робототехнику: по отраслям применения и видам выполняемых работ (в животноводстве и растениеводстве), по характеру перемещения (стационарную, мобильную, беспилотные летательные аппараты), по типу управления (управляемую оператором, полуавтоматическую, автономную) и по специализации (специальную, специализированную и универсальную).

Можно выделить следующие задачи роботизации в сельском хозяйстве:

- мониторинг и прогнозирование;
- снижение себестоимости сельхозпроизводства;
- улучшение качественных показателей;
- снижение экологической нагрузки сельхозпроизводства;
- повышение конкурентоспособности средних и мелких сельскохозяйственных товаропроизводителей;
- повышение безопасности с-х производства;
- решение проблем с кадрами;
- снижение издержек, связанных с недобросовестностью сотрудников;
- расширение возможностей использования сельскохозяйственной техники;
- роботы могут быть всепогодными и работать в любое время суток.

За последние годы были разработаны решения для сельского хозяйства, которые доказали свою эффективность. Благодаря осязаемому развитию беспилотных технологий на рынке начали появляться серийно выпускаемые автономные тракторы и комбайны от разработчиков из России, США, Голландии, Индии, Японии.

На слайде видим, что Россия – в числе стран с низким уровнем роботизации производств: в 2018 г. на каждые 10000 работников приходилось 5 роботов. Развитие промышленности неизбежно влечет роботизацию, без которой невозможно современное производство. И в России есть большой потенциал для внедрения роботов в производство, однако он слабо реализуется, констатируют аналитики Лаборатории робототехники Сбербанка.

По данным исследовательской компании Tractica, в 2016 году в мире использовалось 32 тысячи сельскохозяйственных роботов, но уже к 2024 году эта цифра вырастет до 594 тысяч.

Существуют гибридные роботизированные тракторы, которые отличаются от традиционных только наличием автопилота, которые позволяют оператору доставить технику на поле при помощи ручного управления, а затем человек покидает кабину и переключает трактор в автономный режим работы. Также есть тракторы, когда за рычагами управления остается человек, а автопилот помогает ему, выполняя повторяющиеся операции и подруливая трактором. Существуют автопилоты (или режимы работы), не предусматривающие полной автономности, но рассчитанные на работу в тандеме «человек – робот».

Российская компания «Аврора Роботикс» разработала беспилотный роботизированный трактор на базе платформы К-4 Кировского тракторного завода. В перечень автономно выполняемых работ роботрактором будут входить обработка почвы, посев, защита растений, внесение удобрений, транспортировка урожая и другие виды работ. Ожидается, что в свободной продаже данные роботизированные тракторы появятся не ранее 2025 года, пока не пройдут все циклы испытаний на безопасность и опытное внедрение.

Cognitive Technologies разрабатывает российский комплекс автоматизации Cognitive Agro Pilot (Когнитивный Агро Пилот). Компания создала и запустила в мелкосерийное производство 4D-радары, способные определять высоту и форму объектов в любую погоду, при любой скорости движения и на различных дистанциях. Разработчики утверждают, что серьезных аналогов за рубежом нет. Комплекс в 2019 году испытали на четырех агропредприятиях Томской области на платформе комбайна Акрос 585 (Acros 585) производства Ростсельмаш. Решение адаптировано к сложным мелкоконтурным полям с пересеченным рельефом. Автоматика полностью справляется с вождением комбайна, не допуская столкновений с посторонними объектами, техникой, людьми и животными. Роботизированный комбайн не требует использования спутниковой навигации. Анализ внешней среды обеспечивает видеочамера и бортовой компьютер. Комплекс САР (Cognitive Agro Pilot) может устанавливаться также на трактора или опрыскиватели.

На данном слайде представлены роботизированные системы в сельском хозяйстве, такие как модернизированный полевой робот Xaver компаний **Fendt**. Машина оснащена высевающим устройством с дисковым сошником, а также семенным бункером на 20 литров. В 2020 году была представлена еще одна интересная новинка. Ученые из компании **HayBeeSee**, комбинируя пропеллеры квадрокоптера с оригинальным механизмом прыжков, создали **робота CropHopper**, который может быстро перемещаться по полям и осуществлять широкий спектр работ. **Робот** весит около 3 кг и может работать без оператора в течение всего агросезона. CropHopper предназначен для сканирования сельскохозяйственных культур, выявления сорной растительности и болезней, а также для проведения механической прополки и точечного опрыскивания. Техника выполняет 10-метровые прыжки каждые 3-4 секунды. Таким образом, всего за 20 минут инновационный агрегат способен покрыть около 3 га поле, что соразмерно производительности 70 га/день. В 2020 году также был представлен **новый робот FarmDroid серии FD20**, который предназначен для выполнения технологических операций по уходу за сахарной свеклой, луком, шпинатом и другими культурами. Робот работает автоматически с использованием **высокоточной технологии GPS**. Агрегат обеспечивает посев и обработку почвы без необходимости дополнительного мониторинга и последующей химпрополки. Производительность - 3,4 га/день. Робот использует экологичные специализированные солнечные панели, которые обеспечивают питание рабочих аккумуляторов агрегата.

Отечественная разработка — многофункциональный агрегат **Siberian Tiger для сельскохозяйственных работ**. Данный робот представляет собой автономную платформу с колесами, расположенными на четырех вертикальных осях, что позволяет агрегату перемещаться всенаправленно. При передвижении работает активная подвеска, каждый рычаг подвески может менять свой клиренс, что позволяет установке легче преодолевать неровности и сложный рельеф. Новинка предназначена для комплексного мониторинга урожайности и состояния растений, их болезней, вредителей.

Колесный беспилотный роботрактор АгроБот (Aurora Robotics, Россия) и одноименное решение для автономизации тракторов – комплексная беспилотная система управления, состоящая из «комплекта автоматизации» трактора, диспетчерского центра и ряда вспомогательных систем. Решение может применяться для автоматизации работ в сельскохозяйственной или коммунальной сфере. Система управления, лежащая в основе АгроБота, может быть установлена практически на любую спецтехнику или трактор. При этом на все органы управления монтируются специальные приводы, которыми управляет центральный компьютер.

Далее рассмотрим роботизированные системы и платформы.

Greenbot Беспилотная роботизированная платформа, предназначенная для выполнения различных повторяющихся работ. Может использоваться в садоводческих хозяйствах. Снабжен подъемником с грузоподъемностью спереди до 750 кг, сзади - до 1500 кг. При встрече с препятствием, которое он не может распознать, робот немедленно останавливается и информирует владельца.

В октябре 2021 года Голландская компания Priva представила робота Kompano, предназначенного для подрезания ветвей и листьев растений в теплицах. Устройство способно трудиться в непосредственной близости от работников комплекса. Kompano предназначен для автономного удаления листьев томатов.

На следующем рисунке видим Норвежский автономный робот, предназначенный для быстрого определения скорости эмиссии N<sub>2</sub>O из почвы. Опуская алюминиевые цилиндры на почву, робот проводит анализы примерно в 25 раз быстрее, чем при использовании традиционных методов. Робот способен замерять также эмиссию углекислого газа.

Пара роботов Thorvald, разработанных норвежской компанией SAGE Robotics трудятся на виноградниках. Задача роботов - борьба с грибковыми заболеваниями сельхозкультур без гербицидов и пестицидов. Устройства Thorvald облучают растения ультрафиолетом в темное время суток - в этот период грибки остаются без защиты. По словам разработчиков, низкая интенсивность облучения не влияет на развитие растений - устройства уже доказали свою эффективность в борьбе с мучнистой росой, ложной мучнистой росой и отдельными насекомыми.

По данным генерального директора **Agro Robotic Systems** Льва Киселевского мы можем увидеть реальную экономику от внедрения роботизации. На круговой диаграмме в правом верхнем углу слайда

показана примерная структура расходов хозяйства на обработку 1 Га при производстве пшеницы. Основные расходы связаны с удобрениями, хим. препаратом и ГСМ, а также непосредственно с семенами. Поэтому устранение из уравнения затрат человека - вряд ли стоит считать приоритетной задачей хозяйства. Куда большей экономии можно достичь, если оптимизировать расходы на остальные четыре основных составляющих затрат. Если снизить расходы, связанные с перерасходом за счет более точного позиционирования и автоматического подруливания, хотя бы на 5%, можно достичь экономии вплоть до 655 рублей на 1 гектар за один посевной сезон.

## Дифференцированные технологии

Двухэтапные дифференцированные технологии.  
Одноэтапные дифференцированные технологии.  
Дифференцированное управление посевами.

### *«Двухэтапные дифференцированные технологии»*

В системе точного земледелия существуют два типа дифференцированных технологий. Одноэтапные технологические решения On-line с использованием сенсорного подхода и двухэтапные технологические решения Off-line на основе использования цифровых карт.

Наиболее широко применяются технологии дифференцированного внесения удобрений, мелиорантов и других средств химизации. Максимальная эффективность от реализации новой технологии может быть достигнута при выполнении всех основных технологических операций в системе точного земледелия: обработки почвы, посева, применения удобрений и других средств химизации, ухода за растениями и уборки урожая.

Рассмотрим двухэтапные дифференцированные технологии, которые чаще всего на данный момент применяются. И чаще всего – это дифференцированное внесение удобрений. Для того чтобы проводить работы по данному типу, нужны цифровые карты, а для этого необходимо провести отбор почвенных проб. Отбор почвенных образцов для агрохимического анализа проводится на полях не занятых в данное время сельскохозяйственными культурами. Глубина отбора образцов на черноземных и серых лесных типах почв 0-30 см. Отбор почвенных проб производится механизированным способом с использованием автоматических пробоотборников. На слайде представлен процесс отбора проб пробоотборником Wintex 1000S установленного на прицеп самоходной машины Нива. На полях выделяются элементарные участки, различающиеся по рельефу, экспозиции склонов и уровню плодородия. Площадь элементарных участков составляет в среднем 10 га. С каждого элементарного участка отбирается смешанная проба весом около 300 г, получаемая из 10-15 индивидуальных проб. На удлиненных элементарных участках маршрутные ходы отбора проб планируются обычно по их середине вдоль длинной стороны. На квадратных или округлых участках (контурах) отбор проб производится по очертаниям буквы «М» (зигзагообразно) или петлеобразно вблизи периферии контура с последующим заходом на его середину. Таким образом, средний образец объективно отражает состояние почвенного плодородия на каждом элементарном участке (контуре). Каждый образец закрепляется GPS-координатами.

Отобранные образцы подвергаются агрохимическому анализу:

Для достижения поставленной цели и применительно к задачам почвенного картографирования используется геоинформационная система (ГИС) представляющая собой программно-аппаратный комплекс, основой которого являются цифровые карты с привязанными к ним базами данных.

Одним из направлений снижения энергозатрат и повышения качества технологического процесса является дифференцированная обработка почвы. Это обусловлено тем, что за время возделывания и уборки сельскохозяйственных культур суммарная площадь воздействия на почву ходовых систем машин составляет до 120% площади поля. Наибольшему уплотнению подвергаются поворотные полосы, которые занимают 10...20% площади поля. Они подвергаются уплотнению ходовых систем машин от 6 до 20 раз. Каждый проход агрегата по полю снижает урожай не менее чем на 1 ц/га.

Наибольшее техногенное воздействие на почву оказывают трактора марки МТЗ-82 класса 1,4, поэтому их лучше всего применять при плотности почвы 0,90...0,97 г/см<sup>3</sup>. Чрезмерное уплотнение почвы является одной из причин, снижающих урожайность сельскохозяйственных культур. Уплотнение почвы ходовыми системами тракторов снижает скорость фильтрации воды более чем в 3 раза, ухудшает газообмен, снижает интенсивность протекания биологических процессов в почве (Рисунок 1).

Интересные результаты получены в Швеции. Если ранее в Швеции пестроту урожая чаще всего рассматривали как следствие перераспределения питательных элементов в почве, то в этой работе чрезвычайно широкий разброс урожайных данных на поле (от 4,0 до 11,5 т зерна/га) объяснили вариабельностью твердости почвы. Была установлена достаточно ясная закономерность: урожай был выше там, где меньше твердость. Дифференцированная почвообработка, при которой изменение физических свойств почвы осуществляется только там, где это нужно для роста и развития растений, может способствовать сокращению затрат труда и горючего.

Основная обработка почвы с разноглубинным дифференцированным рыхлением подпахотного горизонта, ранневесенняя обработка с дифференцированным рыхлением поверхности поля, междурядная обработка посевов с дифференцированным качеством и глубиной рыхления почвы за счет более правильного выбора режимов работы, основываясь на карте распределения типа почвы по полю, влажности, уплотнения обеспечивает:

- повышение биологической активности и плодородия почвы;
- однородную комковатость почвы и сохранение влаги;
- выравненность фона почвы, снижение испарения влаги;
- повышение биологической активности почвы и урожайности с.-х. культур.

Для эффективной борьбы с уплотнением почвы посредством дифференцированного воздействия на неё необходимо иметь электронную картограмму распределения плотности (твердости) почвы в рамках поля. Для определения плотности почвы в настоящее время широко используются

конические пенетрометры. Данный инструмент позволяет относительно быстро измерять твердость почвы в зависимости от глубины. При работе с приемником сигналов ГЛОНАСС или GPS можно строить картограммы распределения твердости почвы, которые затем могут быть использованы для дифференцированной почвообработки.

Дифференцированная обработка почвы стала возможной только в двухэтапном технологическом варианте с использованием данных цифровых почвенных карт. Эта информация необходима для подготовки технологических электронных карт-заданий, или чип-карт (рис. 2).

На рисунке 3 приведена схема работы агрегата, предназначенного для дифференцированной обработки почвы.

Агротехнические операции по внесению минеральных удобрений являются важной частью практически в любой агротехнологии. К тому же эти операции, как правило, составляют существенную часть себестоимости всей агротехнологии и как следствие - себестоимости конечной продукции. Также внесение минеральных удобрений существенно влияет на экологическую обстановку на поле, что в свою очередь влияет на плодородие почвы и качество конечной продукции. Очевидно, что правильный расчет дозы удобрения является важнейшей задачей при производстве растениеводческой продукции.

В настоящее время, на практике, агроном рассчитывает дозу удобрения усредненно, то есть одну на все поле. А на самом деле потребность в удобрении на разных участках поля может отличаться в разы (рис.4). В результате создается переизбыток удобрений на одних участках поля и нехватка на других, что соответственно влияет на количество и качество урожая, а также на плодородие и экологическую обстановку на этих участках.

На следующем слайде представлен алгоритм дифференцированного внесения удобрений:

1. отбор почвенных проб с координатной привязкой точек отбора;
2. Агрохимический анализ почвы;
3. Создание электронных почвенных картограмм по содержанию элементов питания;
4. Расчет выноса элементов питания и создание карты урожайности;
5. Создание карты потребности в элементах питания;
6. Дифференцированное внесение удобрений.

Основными способами внесения удобрений в почву являются: основное, припосевное и послепосевное.

Рассмотрим на примере фирмы AMAZONEN-Werke который запустил производство сельхозтехники в Самаре по лицензии Amazone. Приведём основные характеристики центробежного распределителя Amazone ZA-M. Предназначен для внесения сухих, гранулированных, дражированных и кристаллических удобрений. Распределение удобрений возможно на склонах с наклоном до 20 %.

Распределитель укомплектован двумя сменными распределяющими дисками Omnia-Set. Наиболее важной характеристикой рассматриваемого распределителя является возможность автоматической регулировки дозы распределяемого вещества в соответствующем диапазоне под управлением бортового компьютера.

На рисунке 6 представлена машина для дифференцированного внесения жидких удобрений.

На следующем рисунке показан разбрасыватель твердых органических удобрений. Точность внесения в большей степени зависит от качества удобрения. В то время как для минеральных удобрений существуют стандарты качества, для органических подобных стандартов не существует. Консистенция и содержание питательных веществ в них варьируют в значительной мере.

На точность дифференцированного внесения основных удобрений большое влияние оказывает правильный выбор размера растров и распределения точек отбора проб почвы.

В целом эффективность дифференцированного внесения основного удобрения в рамках системы точного земледелия зависит от точности затрат на исходные данные, алгоритмов внесения удобрений (функций урожайности), а также аппликации. При этом алгоритмы внесения удобрений целесообразно адаптировать для каждого хозяйства.

Также дифференцированные двухэтапные технологии широко применяются при посеве, внесении гербицидов, фунгицидов, орошении и т.д.

### ***«Одноэтапные дифференцированные технологии»***

Как уже было отмечено в предыдущей лекции, технологию дифференцированного внесения можно разделить на два конкурирующих процессных подхода: «оффлайн» и «онлайн». В первом случае нормы внесения по каждому участку поля определяются заранее, и техника работает по уже введенной программе со всеми расчетами. Именно она предполагает всестороннюю аналитику и составление карт-заданий. А онлайн-подход основан на расчете и коррекции необходимого объема удобрений прямо во время работы машины, то есть при проведении этой операции в поле. Этот способ предполагает использование датчиков-спектрометров (N-сенсор, GreenSeeker, CropSpec), которые устанавливаются на движущемся тракторе.

Сенсор излучает свет на двух длинах волн и измеряет отражение от поверхности растений. На основе полученных данных вычисляются стандартизированные индексы различий растительного покрова, среди которых и наиболее известный вегетационный индекс NDVI.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности — простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Этот индекс вычисляется по поглощению и отражению растениями лучей красной и ближней инфракрасной зоны спектра. Значения

индекса для растительности лежат в диапазоне от 0,20 до 0,95. Чем лучше развита растительность во время вегетации, тем выше значение NDVI. Таким образом, NDVI – это индекс, по которому можно судить о развитии зеленой массы растений во время вегетации.

Опрыскиватель или разбрасыватель ориентируется в дозировке на данные, поступающие в режиме реального времени. То есть на ходу определяет отклонения интенсивности окраски листьев (N-сенсор) или оценивает пространственное варьирование состояния посевов по индексу NDVI (GreenSeeker) и в соответствии с полученными данными регулирует дозу вносимых удобрений и СЗР.

Оборудование для внесения удобрений в режиме «on-line» включает в себя:

1) навигационную систему AgGPS EZ-Guide Plus, которая включает в себя Курсоуказатель со встроенным GPS приемником AgGPS EZ-Guide Plus Lightbar, антенну, крепление, соединительные кабели, кабель питания.

2) Датчик определения азота N-сенсор, например Сенсор GreenSeeker RT 200.

3) Разбрасыватель удобрений с оборудованием для дифференцированного внесения.

Сенсор устанавливается на специальной раме перед трактором или над кабиной, в его комплект входят шесть оптических датчиков.

Каждый оптический датчик излучает свет по двум длинам волн и измеряет отраженный свет. Микропроцессор датчика анализирует отраженный свет и подсчитывает получаемое значение NDVI-индекса - комплексного показателя развития биомассы и содержания в ней хлорофилла. Данные с каждого датчика передаются в интерфейсный модуль для обработки и передачи на полевой компьютер.

RT Commander отображает NDVI-индекс и местонахождение в реальном времени, записывает выходные данные на контроллер устройства внесения удобрений. Записанные данные переносятся с помощью флеш-карты на стационарный компьютер для анализа.

Информация от датчиков также передается на бортовой компьютер, который в свою очередь управляет дозирующей системой разбрасывателя минеральных удобрений. В зависимости от интенсивности окраски листьев (то есть от содержания хлорофилла в них), будет повышаться или понижаться норма внесения азотных удобрений. Однако при работе в режиме on-line обязательным и неотъемлемым звеном является создание калибровочных таблиц, в которых указывается количественная зависимость дозы удобрения от показаний датчика установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию.

Встроенные в прибор калибровочные таблицы подходят для сортов и условий страны-производителя сенсора и должны уточняться для конкретных почвенно-климатических условий, сортов, фазы развития растения.

Для этого используется портативный прибор N-tester, определяющий те же параметры, что и GreenSeeker RT 200. При наступлении нужной фазы развития посевов, в которую должна проводиться подкормка, проводятся измерения N-tester на разных по окраске и месторасположению листьях. Растения, на которых проводили измерения, анализируются в лаборатории на содержание азота, фосфора и калия в сухом веществе. Далее рассчитывается доза азота, необходимая для каждого растения.

Результаты расчета доз сопоставляются с показаниями N-tester и получается калибровочная таблица. По данной калибровочной таблице определяется доза азота в действующем веществе, которую нужно внести для растений с данной обеспеченностью азотом.

Для успешного применения технологии «on-line» - внесения нужно иметь достаточную степень развития биомассы растений, чтобы проективное покрытие было не менее 50%.

Перед работой в поле необходимо ввести в компьютер разбрасывателя процентное содержание азота в удобрении, которым будет осуществляться подкормка. Компьютер пересчитает дозу в действующем веществе на туки и будет посылать корректирующий сигнал на контроллер. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту и затем обрабатываются на стационарном компьютере.

На данном слайде мы можем наблюдать выравнивание роста и развития культуры при дифференцированном питании. При реализации технологии внесения удобрений в режиме «on-line» каждое растение получает необходимое ему количество азота. В результате формируются выровненные по урожайности и качеству зерна посевы, отсутствует полегание растений из-за переизбытка азота.

#### Дифференцированное внесение регуляторов роста

Применение регуляторов роста – составная часть агротехнологических приемов возделывания многих сортов зерновых культур. Например, внесение регуляторов роста позволяет получать более короткие стебли, и таким образом снижается опасность полегания растений. Стабилизация роста стеблей, в свою очередь, свидетельствует об эффективности внесения азотных удобрений и в итоге – о повышении урожайности культуры.

Все регуляторы роста, применяемые в настоящее время при возделывании зерновых, включаются в систему действия гормона роста гиббереллина, вырабатываемого растениями. В процессе развития возникают сложные взаимосвязи в активности всех ростовых гормонов, поэтому регуляторы роста следует использовать очень осторожно с учетом сортовых особенностей, почвенных и погодных условий и степени развития стеблестоя. Например, значительное снижение концентрации гиббереллина в растении во время кушения чрезмерно усиливает этот процесс. Если это наступает поздно, то у злаковых образуется подгон. Кроме этого, снижаются средняя масса зерен и число колосков. Применение регуляторов роста в

определенной мере приводит к подавлению роста корней. Ошибки в использовании регуляторов роста приводят к снижению урожайности.

Срок оптимального действия регуляторов роста у зерновых достаточно ограничен. При этом важную роль играет состояние посевов, которое в большей степени зависит от факторов и условий роста.

Посевы, как правило, отличаются выраженной в разной степени неоднородностью роста и развития стеблестоя, поэтому на практике рекомендуется дифференцированное по площади внесение регуляторов роста в режиме реального времени.

Гербициды являются важным фактором увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Однако их применение оправданно только тогда, когда плотность сорняков на единицу площади превышает экономический порог вредоносности, а затраты окупаются полученной прибылью от сохраненного урожая. Именно с этого порога вредоносности все мероприятия по борьбе с сорняками окупаются экономически и обоснованы экологически.

Для дифференцированного внесения гербицидов практическое значение имеют системы, работающие в режиме реального времени. Все технологические этапы в них проводятся одновременно, т. е. сбор данных, их обработка и управление опрыскивателем производятся в одном рабочем проходе. Для реализации этого технологического подхода на рынке предлагаются различные системы датчиков и электронно-регулируемые опрыскиватели с прямым и мультикамерным питанием.

### ***«Дифференцированное управление посевами»***

Процесс образования сухой массы у культурных растений включает различные фазы, в течение которых развитие массы надземных органов и индекс листовой поверхности, а вследствие этого и возможная урожайность достигают различных величин.

Учитывая состояние всходов, необходимо планировать агротехнические мероприятия по управлению посевами таким образом, чтобы уменьшить (и по возможности исключить) проявления вредной конкуренции, а также смягчать отрицательное и усиливать положительное воздействие тех или иных факторов на формирование урожайности.

Под управлением посевами понимается совокупность согласованных растениеводческих мероприятий, которые с учетом места выращивания, погодных условий и состояния посевов целенаправленно проводятся для получения оптимальной структуры посевов, достижения высоких показателей урожайности и, следовательно, реализации специфической для данной местности потенциальной урожайности сорта при оптимальной интенсивности возделывания, без пагубного влияния на внешнюю среду.

Под управлением посевами предусматривается выполнение следующих мероприятий: применение удобрений, регулирование роста растений, борьба с сорняками, болезнями и вредителями. Учитывая взаимную

обусловленность компонентов урожайности зерновых и других сельскохозяйственных культур, проведением мероприятий по управлению посевами можно в определенной мере компенсировать недостаточное развитие отдельных ее компонентов.

Из разнообразия конкретных почвенно-климатических и погодных условий вытекает, что посевами невозможно управлять по одной и той же схеме. Даже в одном хозяйстве для каждого поля, в зависимости от меняющихся условий в разные годы, необходимо принимать разные решения.

На основе знаний о компонентах урожайности данной культуры, данного сорта, особенностей ее формирования в разные фазы развития следует, исходя из состояния посевов на данном поле, определять тактику управления ими для достижения высоких показателей урожайности. Управление посевами – это комплекс мероприятий, основанных на знании и опыте хозяйствования в определенных природных условиях.

При управлении посевами особое внимание должно быть максимально направлено на формирование у растений основной продукции и обеспечение высокого их качества, с одновременным ограничением развития до необходимой величины побочной продукции.

Оптимальный для данной местности срок посева и целенаправленные мероприятия по защите растений на основе порога вредоносности должны быть такими, чтобы растения за вегетационный период в наибольшей степени воспользовались этим для формирования компонентов урожайности.

Конкретные этапы (тактика) управления посевами зависят не только от почвенно-климатических и погодных условий. Проблема современных систем управления посевами заключается в том, что при принятии решения о проведении того или иного мероприятия исходят из гомогенности посевов. Неоднородность посевов и условия роста в пределах поля не учитываются. Для такого учета требуется реализация дифференцированного по площади поля управления посевами (рисунок).

В настоящее время известны используемые на практике технологии дифференцированного проведения отдельных мероприятий управления посевами, такие как обработка почвы, посев, внесение азота, регуляторов роста, применение гербицидов и фунгицидов. Однако пока не создана общая модель для упрощения принятия решений о проведении отдельных мероприятий, которая связывала бы воедино отдельные модули, описывала бы их взаимосвязи с использованием эффектов синергизма и повысила бы эффективность дифференцированного управления посевами.

Такая модель должна осуществлять:

- быстрый доступ ко всем модулям модели;
- частично или полностью автоматизированное прохождение информации для планирования управления посевами;
- оперативное управление посевами на основе текущей информации, полученной по отдельно взятым мероприятиям.

Мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур позволяет выявить ее неоднородность по каждой культуре в пределах поля и представить ее в формате цифровых карт. Система картирования урожайности заключается в дифференцированном измерении урожайности в пределах поля в режиме реального времени и обработке данных на персональном компьютере.

Система картирования урожайности – это совокупность оборудования и ПО, которые устанавливаются на зерноуборочную технику для учета количества собранной сельскохозяйственной культуры на каждом участке поля. С помощью специальных датчиков, установленных на комбайнах, а также бортовых компьютеров и приемников GPS в процессе уборки урожая можно получить пространственно ориентированные карты урожайности и влажности зерна. Составление подобных карт является неотъемлемой частью технологии точного земледелия и позволяет осуществлять прогноз урожайности.

#### **Основные элементы системы картирования урожайности:**

- датчик потока зерна;
- датчик влажности зерна;
- датчик скорости движения комбайна;
- датчик положения жатки;
- DGPS-система;
- бортовой компьютер;
- дисплей.

На данном слайде показана схема установки элементов системы картирования. Передовая консоль X35 для контроля собранного продукта размещается в кабине комбайна, а интерфейс, для удобства пользования, настраивается по предпочтению каждого комбайнера. X35 это проверенная временем консоль с сенсорным управлением, поднимающая систему мониторинга урожая на новый уровень.

Благодаря универсальным каналам этот прочный, компактный приемник осуществляет быстрый захват и обработку сигналов всех видимых спутников двух систем (GPS и ГЛОНАСС).

Хорошо защищенный корпус YM-1 от проникновения пыли и влаги делает его надёжным элементом системы мониторинга урожайности. Встроенные гироскопы дают возможность учета наклона комбайна на неровностях поля и сводят к минимуму ошибки измерений.

Система определяет высоту зерна на скребках транспортера зернового элеватора во время его движения в поле действия оптического датчика. Используя данные предварительной калибровки, YieldTrakk конвертирует эту информацию в объем, а затем и вес намолоченного зерна.

Датчик замеряет влажность зерна в наклонном загрузочном шнеке бункера и отправляет данные в реальном времени на консоль X30.

Датчик высоты подъема жатки автоматически отключает картирование урожая на разворотах или на холостых проходах.

Карты урожайности составляются как точечные, растровые, карты относительной урожайности либо изокарты урожайности.

Точечные карты урожайности являются первоначальным этапом в составлении карты урожайности. На них указывают отдельные точки измерения урожайности. По степени окрашенности можно определить, на каких участках поля собраны высокие или низкие показатели урожая. Они позволяют производить быстрый визуальный контроль урожайности по полю и получить информацию о тех местах, где совершены технические ошибки при измерении урожайности.

Точечные карты представляют лишь данные об урожайности в точках измерения. Для оценки урожайности на определенной площади поля необходимо интерполировать эти данные, т. е. связать данные из разных точек измерения и объединить их в процессе расчета. Для этого производят растровую разбивку площади.

**В результате использования системы картирования урожайности создаются специальные картограммы урожайности, которые позволяют:**

- **определить проблемные участки поля.** Если вы знаете в какой части поля из года в год низкая урожайность, вы сразу же понимаете, какая зона требует больше внимания со стороны агронома;

- **определить зоны продуктивности на поле.** Продуктивность и плодородие почвы на каждом участке поля отличаются друг от друга. Например, одна зона поля может давать высокий урожай, а вторая – низкий. Используя технологии дифференцированного высева семян, внесения удобрений и внесения СЗР, можно сэкономить на ресурсах и одновременно увеличить рентабельность каждого участка поля;

- **провести агрохимический анализ почвы.** Специалисты используют ранее созданную карту на основе зон продуктивности для отбора образцов почвы с разных участков поля, чтобы выяснить причины неурожайности, оптимизировать затраты на систему питания, выяснить, подходит ли конкретный участок для выращивания тех или иных культур;

- **провести дифференцированный посев и дифференцированное внесение удобрений.**

Таким образом, можно сделать вывод, что картирование урожайности является незаменимым элементом системы точного земледелия, что в свою очередь указывает, на каком участке поля в будущем можно будет получить максимальный урожай, исходя из оптимизации затрат и извлечения максимальной прибыли. Существует и другое решение данной задачи – снижение затрат за счет планирования урожая на участках с пониженной плодородностью почвы, что оказывает прямое влияние на севооборот, конфигурацию полей и выбор высеваемых культур.

## **Библиография**

Точное сельское хозяйство : учебник для вузов / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, А. А. Тенеков [и др.] ; под редакцией Е. В. Труфляка. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 512 с.