

**Опорный конспект лекций  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЗЕМЛЕДЕЛИИ»**

**Для специальности 7-06-0811-02 Агрономия**

## **Лекция 1. Тема: Основные направления развития и примеры использования цифровых систем в современных технологиях возделывания растений (2 часа)**

1. Стратегии реализации технологий прецизионного земледелия.
2. Дифференцированное управление посевами.

**Вопрос 1.** Общепринятая в точном земледелии практика разделения общей задачи управления технологиями на два независимых направления, офлайн и онлайн, не имеет серьезного научного обоснования и противоречит основному положению классической науки об оптимальном управлении динамическими системами. В соответствии с этим положением, в открытых динамических системах, подверженных воздействию случайных внешних возмущений, общее оптимальное управление имеет два компонента, дополняющих друг друга. Это, во-первых, оптимальная программа, которая формируется на базе исходной информации об управляемой системе, и, во-вторых, корректирующее управление - в реальном времени, основанное на текущем

В точном земледелии оптимальная программа соответствует уровню офлайн, а корректирующее управление - уровню онлайн. Программа определяет полный баланс ресурсов и порядок их ввода в технологических операциях, а корректирующее управление устраняет временную и пространственную неопределенность. Система "почва-растение-атмосфера" включает в себя два динамических блока с рассредоточенными параметрами - посев сельскохозяйственной культуры и почвенную среду. Посев - конечное звено управления аграрными технологиями, он формирует конечный результат, урожай; почвенная среда - это в основном динамический канал управления (питание и влага) посевом. Почвенная среда обладает большой емкостью (инерционностью) для ресурсов питания и влаги, ее химическое состояние меняется в годовом цикле. Поэтому управление химическим состоянием почвы - отдельная задача при управлении продуктивностью посевов. Основные технологические операции в точном земледелии, с помощью которых можно управлять состоянием посева на всем периоде онтогенеза, - это поливы, дозированное внесение удобрений, мелиорантов и регуляторов роста. Обычно речь идет об одном интервале вегетации, от сева до уборки урожая. Но как быть, если химические удобрения и мелиоранты действуют не один сезон или если в следующем интервале вегетации на том же поле будет возделываться другая культура. Рекомендуется провести анализ карт урожайности, содержания основных элементов питания и кислотности почв. Но в научной литературе не обнаруживается ни одного обоснованного алгоритма, позволяющего на базе этой информации рассчитать оптимальные дозы удобрений: нет адекватной теории, позволяющей разрабатывать такие алгоритмы. Таким образом, задача управления формулируется следующим образом: для последовательности культур в принятом севообороте найти последовательность доз внесения удобрений по всем годам севооборота. Иными словами, нужно минимизировать и потери будущих урожаев, и расходы на удобрения при соблюдении всех имеющихся технических и технологических ограничений. В теории управления такая последовательность называется оптимальной стратегией.

Применяя оптимальную стратегию, необходимо учитывать пространственную неоднородность элементов питания и кислотности почвы и самого урожая. Информация об этой неоднородности содержится в электронных картах, составленных при уборке урожая и обследования поля в предыдущем сезоне. Критерий оптимальности требует прогнозных оценок потерь урожая, доз агрохимикатов и показателей химического состояния почв. Для этого необходимы два источника информации: математические модели и доступные измерения величин, связанных с управляемым состоянием. В математических моделях отражаются знания об управляемом объекте и средствах измерения.

В любой управляемой системе математические модели строятся на общих закономерностях, и в реальных условиях они могут не обеспечивать требуемой точности оценки. Поэтому необходима идентификация математических моделей по доступным измерениям. Ее суть в оперативном уточнении всех параметров моделей, то есть в их адаптации к текущей обстановке. Такими измерениями являются данные дистанционного зондирования (ДДЗ) от беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Математические модели по ДДЗ оценивают сначала состояние посевов в севооборотах, а уже по нему - химическое состояние почвы. Для идентификации этих моделей необходимо взять пробы с тестовых площадок (25 - 50 м<sup>2</sup>) вблизи основного поля, на которых возделывается такая же культура (рис. 2), но вносятся разные дозы агрохимикатов. Весь комплекс измерений выполняется один раз за вегетационный период, непосредственно перед уборкой урожая. Для идентификации динамической модели химического состояния почв, которая строится в годовом цикле, необходимы данные за предыдущий севооборот (5 - 7 лет), карты распределения по площади поля урожая предыдущего года и всех параметров химического состояния почвы.

**Вопрос 2.** Реализация стратегии точного сельского хозяйства направлена на заметное повышение эффективности аграрной отрасли, снижение техногенных затрат и себестоимости продукции и создание реальных условий для соблюдения установленных экологических требований и нормативов в рамках производственного процесса. Реализация стратегии точного сельского хозяйства требует высокого уровня профессиональной подготовки и владения информационными технологиями, что заметно повышает привлекательность и престиж сельскохозяйственных профессий. Наиболее распространенная на сегодняшний день концепция ведения сельскохозяйственного производства базируется на «уравнительных» системах землепользования, не учитывающих пространственной и временной variability параметров плодородия поля, природных и техногенных факторов риска. Опыт стран с высоким уровнем развития сельскохозяйственного производства свидетельствует о возрастающих масштабах разрушения и загрязнения окружающей среды, высокой зависимости величины и качества урожая от различных факторов риска и, прежде всего, изменчивости погодных условий, об устойчивом росте затрат невозполнимой энергии на каждую дополнительную единицу продукции.

Применение агротехнологий без учета внутривариационной variability параметров плодородия почв и действия факторов риска приводит к наруше-

нию равновесия агроэкосистем. Неадаптивные технологии применения удобрений и других средств химизации, базирующиеся на «уравнительных» принципах, обеспечивают их окупаемость только в пределах 40-50% от оптимальной. Установлено, что чем хуже почвенно-климатические и погодные условия, тем в большей мере неадаптивность сельскохозяйственного производства снижает его эффективность, повышает риск загрязнения и разрушения природной среды.

Отличительная особенность современных прогрессивных технологий состоит в освоении методов управления продукционными процессами. В настоящее время большинство отечественных сельхозтоваропроизводителей используют двухцикличные технологии: типа «посеял - убрал», не управляя продукционным процессом в период вегетации растений и созревания урожая.

Современной наукой, передовой зарубежной и отечественной практикой доказано, что значительно повысить эффективность производства можно при положительном воздействии на сельскохозяйственные объекты именно в процессе их выращивания и использования. Значительная часть инноваций связана с применением космомониторинга и геоинформационных систем, а также мониторинга посевов в режиме онлайн. Даже при более простых и распространенных методах управления продукционным процессом без высоких затрат и при имеющихся инструментах (техника, средства химизации, сорта и т. д.) возможно кратно поднять эффективность использования трудовых, материально-технических, энергетических, биологических и финансовых ресурсов.

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

На эти процессы воздействуют многие факторы, которые могут снижать или повышать урожайность. В первую очередь это почвенно-климатические условия данной местности и погода конкретного года. Кроме того, в посевах культурных растений проявляются разнообразные эффекты конкуренции

Систему точного земледелия можно подразделить на четыре подсистемы (Д. Шпаар и др.):

1) менеджмент организационно-методических мероприятий на основе автоматического сбора данных:

- организация и экономика хозяйства;
- внутрихозяйственное опытное дело;
- администрация и управление;
- менеджмент качества;

2) управление посевами с учетом неоднородности агроэкологических условий роста и развития культур в пределах отдельно взятого поля:

- обработка почвы;
- посев;
- внесение удобрений;
- защита растений;

- орошение;
- уборка;

3) менеджмент машинно-транспортного и технологического обеспечения:

- централизованный контроль и управление машинами;
- контроль места нахождения;
- планирование маршрутов с централизованной или индивидуальной организацией выполнения;

4) менеджмент рабочих процессов на основе использования робототехники:

- управление оборудованием;
- автоматическое управление вождением;
- сочетание управляемых и беспилотных машинно-тракторных агрегатов;
- комплексы беспилотных тракторов и комбайнов традиционной и специальной конструкции.

На основе постоянного усовершенствования информационной техники, оптико-электронных датчиков (сенсоров) и оптических систем (камер) робототехники, моделей и программ программного обеспечения создаются реальные предпосылки для возрастающего применения элементов точного земледелия в менеджменте хозяйств, для управления продуктивностью агроценозов и поголовьем животных с учетом требований охраны окружающей среды.

К элементам точного земледелия, которые в настоящее время находят практическое применение, можно отнести следующие:

- определение границ поля с использованием ГСП;
- дистанционное зондирование (аэро- или спутниковые фотосъемки);
- системы параллельного вождения агрегатов;
- локальный отбор проб в системе координат;
- составление карт электропроводности почв;
- составление карт урожайности;
- дифференцированное внесение удобрений, извести, средств защиты растений;

В последние годы ученые и практики сельского хозяйства все в большей степени рассматривают точное земледелие не только как технологию для учета неоднородности и изменчивости условий роста и развития культурных растений, но и как исходную точку, а в перспективе — решающую составную часть компьютеризованного производства сельскохозяйственной продукции, управляемого информационной системой на основе использования всех возможностей информационных технологий. При этом большое внимание уделяется достижению высокой экономической эффективности агротехнологий, эффективному менеджменту информационного массива, а также вопросам охраны окружающей среды. На этой основе в перспективе будет формироваться единая комплексная компьютеризованная система менеджмента производственной деятельности для всего сельскохозяйственного предприятия.

## **Лекция 2. Тема: Цифровая экосистема (цифровой двойник) как средство ведения современного растениеводства (2 часа)**

1. Оборудование для прецизионного земледелия.

2. Управление машинами и контроль за их работой, ручные и автоматические системы параллельного вождения.

**Вопрос 1.** В системе точного земледелия требуются сбор значительного объема данных в разных местах, перемещение их на оборудование различного типа, обработка и накопление. Во многих случаях для этого используют мобильные карманные компьютеры, так называемые персональные цифровые секретари (Personal Digital Assistants – PDA), или полевые компьютеры. Их применяют прежде всего для: – автоматизированного сбора данных; – мобильной документации истории поля; – определения площади поля; – поддержки ручного управления; – управления машинами и оборудованием. Полевые компьютеры могут выполняться в «блокнотном» (Notebook), «планшетном» (Tablet PC) и «карманном» (Pocket PC) исполнении (рисунок 1). Они могут использоваться непосредственно как компьютеры специалистами хозяйств и в качестве основы бортовых компьютерных систем автомобилей, тракторов и других сельскохозяйственных машин. В состав таких систем обычно входят GPS-приемники, различные датчики, коммутационные блоки и контроллеры. Они выполняют задачи, предусмотренные специальными пакетами программного обеспечения (ПО). Среди наиболее распространенных полевых компьютеров можно выделить такие, как AgGPS-170, AgGPS FieldManager, TDS Recon Pocket PC-based PDA (фирма Trimble), SMS Mobile (фирма Ag Leader), Insight 1/2 (DirectCommand) (фирма Insight), Amatron +, GPS-Switch для Amatron + (фирма Amazone) и др.

Среди новинок можно отметить полевой компьютер Viper Pro (фирма Raven Industries), включающий в себя: вертикальный сенсорный экран с диагональю 10,4 дюйма (26,4 см), консоль управления штангами Switch Pro, встроенный двухчастотный DGPS-приемник, курсоуказатель, дублирующий информацию об отклонении, Flash-накопитель. Компьютер снабжен всеми доступными функциями и технологиями – от управления системой дифференцированного внесения GreenSeeker и онлайн-мониторинга погоды до беспроводного обмена данными, включая интернет-канал и сдвоенную антенну Farm Pro, и способен управлять процессом внесения удобрений до пяти различных вариантов одновременно.

Планшетный компьютер Yuma (компания Trimble) предназначен для использования в полевых условиях и может работать при температуре от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Планшетный компьютер оборудован дисплеем, обеспечивающим хорошую видимость при ярком солнечном свете; включает встроенные модули Wi-Fi b/g и Bluetooth 2.0. Для подключения дополнительных устройств имеются слоты SDIO и ExpressCard. Он оснащен двумя цифровыми камерами, GPS-приемником. Сенсорный экран характеризуется высокой чувствительностью, удобством управления программами. Эта панель позволяет ввести произвольный текст и выполняет остальные функции клавиатуры. На практике получили распространение два типа панелей: – панель рукописного ввода –

позволяет воспроизводить текст непосредственно на дисплее (как на бумаге), рукописный текст будет распознан и преобразован в печатный текст; – сенсорная клавиатура – предназначена для ввода текста посимвольно, касаясь изображенных на экране кнопок виртуальной клавиатуры; действия в этом случае аналогичны использованию обычной клавиатуры. Для запуска панели ввода необходимо нажать кнопку F3. По умолчанию предлагается использование сенсорной клавиатуры. Переключение между двумя возможными типами панели ввода производится касанием пиктограмм. Планшетный компьютер оснащен двумя фотокамерами, объективы которых размещены на задней и передней панелях. В нем изначально установлена программа G-Camera, но также для управления камерами можно установить и программы других производителей. Программа G-Camera позволяет производить фотосъемку и видеозапись, отслеживать и записывать траекторию перемещения, настраивать модуль GPS. Для запуска программы необходимо выполнить двойное прикосновение к пиктограмме G-Camera, размещенной на рабочем столе Windows, или прикоснуться к пиктограмме Пуск – Все программы – G-Camera. После запуска программа автоматически распознает модуль фотокамеры. Если последний не обнаружен, то в окне программы изображение отсутствует.

В режиме видеокамеры предлагается установка параметров видеозаписи, которая производится в виде файлов формата WMV. Изображение в видеокателе всегда имеет разрешение 640×480 точек.

Режим записи маршрута позволяет ее начать с интервалом 6 с. После выхода из этого режима производится запись файла формата KML. Маршрут совместно со сделанными фотоснимками можно проследить в программе Google Earth. При повторном прикосновении завершаются запись маршрута и формирование KML-файла. Все фотоснимки с результатами местоопределений будут сохранены в одном каталоге. При ошибке в записи данных KML-файл формироваться не будет.

**Вопрос 2.** В последние годы в земледелии наблюдается техническая революция, нашедшая свое воплощение в технологиях прецизионного земледелия. Эти технологии обеспечивают более точное вождение агрегата в поле и объективную оценку проведения работ. В результате повышается урожайность, улучшается качество продукции и сокращаются затраты на средства производства. Однако внедрение таких технологий связано с достаточно высокими первоначальными инвестициями. Тем не менее, экономические расчеты показывают, что несмотря на высокую стоимость внедрения технологий прецизионного земледелия, они могут окупиться не только в Западной Европе, но и в условиях сельхозпроизводства нашей страны. Высокая эффективность рассматриваемых систем может быть также обеспечена при значительных объемах внесения минеральных удобрений центробежными рассеивателями, когда нет других возможностей обеспечения заданной точности распределения удобрений по полю. С учетом всего комплекса социально-экономических факторов и приоритетов современного сельского хозяйства необходим взвешенный подход к вопросу более широкого применения систем точного вождения мобильных агрегатов с использованием спутниковой навигации типа GPS.

Для определения координат мобильной сельскохозяйственной техники на поле в качестве средства навигации используется GPS. В данный момент на территории России функционируют две системы глобального позиционирования: американская NAVSTAR и российская ГЛОНАСС. Они позволяют неограниченному числу любых объектов, имеющих приемную аппаратуру, в режиме реального времени и с высокой точностью определять свое местоположение, скорость движения и ряд других параметров в любой точке планеты. Наибольшее распространение в точном земледелии получила приемная аппаратура системы NAVSTAR в связи с ее хорошо налаженным производством и полностью развернутой группировкой космических аппаратов.

**Системы точного вождения сельскохозяйственной техники.** Одним из приборов спутниковой навигации, применяемых в точном земледелии, является GPS-прибор для параллельного вождения сельскохозяйственных машин при посеве и в процессе ухода за растениями. Приборы GPS – один из элементов технологии точного земледелия – обеспечивают двухсменную работу дорогостоящей техники независимо от условий видимости, позволяют выдерживать оптимальные сроки сева, экономить расходные материалы и ГСМ. Эксперты прогнозируют рост спроса аграриев на системы спутниковой навигации. На сегодняшний момент все мировые лидеры по производству сельскохозяйственных машин (CLAAS, John Deere, Case и др.), комплектуют свою технику навигационной системой GPS. Навигационная система, устанавливаемая на сельскохозяйственной технике для точного земледелия, включает в себя GPS-приемник и бортовой компьютер с программным обеспечением. Этот комплекс позволяет для этой техники вести запись текущих координат, высоты и других параметров с любым заданным интервалом времени. Запись навигационных данных и параметров производится в широко известных форматах ESRI® Shapefile и MapInfo®, что позволяет их легко импортировать в любую ГИС для дальнейшей обработки и производства необходимых агротехнических расчетов. При использовании технологии точного земледелия применяются несколько видов GPS-приемников разного уровня точности определения местоположения и, соответственно, ценовой категории. Для выполнения ряда операций (по технологии точного земледелия) точности 2-3 метра недостаточно. В этом случае используют дополнительно принимаемую дифференциальную поправку (DGPS). Потребитель может получать дифференциальную поправку различными способами: глобальная спутниковая платная, европейская спутниковая бесплатная, от морских радиомаяков и от локальных базовых станций. Платная годовая подписка (Omnistar, Rakal) при точности определения местоположения менее 0,5 метра стоит около 1000\$. Услуги Европейской системы EGNOS – бесплатно, при точности 0,5-1 метр (стоимость GPS-приемника с поддержкой EGNOS обойдется потребителю ~500\$). Стоимость локальной базовой станции приблизительно 4000\$, при этом точность достигает нескольких сантиметров. В зоне действия морских радиомаяков достигается точность менее 1 метра. Таким образом, потребитель может из всего спектра выбрать то оборудование, которое позволит ему наиболее эффективно использовать агротехнологии точного земледелия. При решении задач,

связанных с внедрением компьютерных технологий в сельское хозяйство, больших затрат всегда требовал сбор данных. Однако за два последних десятилетия стоимость сбора данных с точностью, которая требуется для ведения точного земледелия, заметно снизилась. Приемники GPS теперь уже подсоединены к бортовым компьютерам, которые собирают информацию о поступлении урожая в бункер комбайна. Программное обеспечение, установленное на бортовом компьютере, позволяет пространственно «привязывать» эти данные, что позволяет получать базу данных ГИС по урожайности поля. Измерение параметров почвы, которые влияют на рост и развитие растения, является неотъемлемой составляющей точного земледелия. Эффективность точного земледелия будет во многом зависеть от того, как быстро и точно будут измерены эти показатели. Частота измерений (пространственная и временная) будет зависеть от того, какова изменчивость измеряемого показателя (изменчивость этого параметра по полю и во времени).

### ***Системы параллельного вождения.***

Система параллельного вождения предполагает участие механизатора в управлении машиной по схеме: «измерение текущих координат сельхозмашины - отображение отклонений от заданного маршрута на табло в кабине - вращение механизатором рулевого колеса для удержания агрегата па заданном маршруте». В общем случае система параллельного вождения состоит из GPS-приемника с внешней антенной, контроллера и курсоуказателя. Системы легко и быстро устанавливаются на любой мобильный сельхозагрегат. Требуется только подключение к электропитанию и установка внешнего блока (приемника GPS) на входящих в комплект магнитной либо воздушной присосках. Обучение механизаторов использованию этого типа оборудования занимает, в зависимости от желаемой «глубины» изучения, от нескольких минут до суток.

Курсоуказатель Track Guide фирмы Muller Elektronik имеет цветной дисплей, информация с которого легко читается при любых условиях. Внизу дисплея графически отображается машина с ее соответствующим курсом. При желании изображение можно увеличить. Общий вид сверху можно увидеть, нажав на кнопку «вид с высоты птичьего полета» (bird's eye view). Кроме этого, существует возможность получения двухмерного и трехмерного изображения. В верхней части дисплея световая панель отображает следующие данные: нижняя линия показывает текущее расстояние до расчетной полосы, а верхняя линия дает предварительный просмотр. После проезда вокруг поля рассчитывается площадь поверхности и определяются его границы. Система также позволяет помечать препятствия. При приближении к препятствию появляется звуковой сигнал и визуальное предупреждение. Прибор оснащен встроенной памятью, которая способна сохранять как информацию о границах поля, так и о местонахождении препятствий, и линии прохождения каждого поля. Кроме этого, имеется функция, позволяющая присваивать и регистрировать названия полей. Прерванный рабочий процесс может быть сохранен и возобновлен в любое время. Преимущества курсоуказателя Track Guide: меньшее количество перекрытий, экономия топлива и повышенная производительность; сокращение огрехов снижает возможные потери урожая;

предупреждение о препятствиях предотвращает расходы на ремонт. Имеются и другие технологические возможности устройства: внутренняя память для рабочих файлов объемом 1 Гб; параллельный и контурный режимы; предупреждение о препятствиях; расчет площади поверхности, дистанции, скорости; высококачественный 12-канальный DGPS-ресивер со встроенной антенной и магнитной плитой для простой установки и использования сервиса EGNOS DGPS; калибровка корректирующего сигнала EGNOS путем установки ориентира (базисной точки); работа при плохой видимости и работа на грядах; положение, зарегистрированное в поле, может быть восстановлено в любое время. Европейский рынок предлагает и другие системы курсоуказателей с использованием GPS, дополнительная информация по которым приведена на соответствующих интернет-сайтах. Использование систем параллельного вождения облегчает работу оператора, позволяет работать в темное время суток и в условиях плохой видимости.

**Результаты использования систем вождения с GPS.** Оценка влияния курсоуказателей различных фирм. на точность работы с использованием системы навигации DGPS EGNOS. Их эффективность оценивалась при обработке полей по количеству ошибок оставляемых огрехов и допускаемых перекрытий. Площадь поля в проводимом сопоставлении составляла 10 га. Исследовалась работа опрыскивателей захватом 24 м при скорости движения 10 км/ч за 5 проходов по параллельным линиям. Шаг замеров точности вдоль линии движения составлял 1 м. Результаты замеров показали, что большую сумму баллов (по 80 из 100 возможных) имеют системы CenterLine 220 и Trimble. Более низкие показатели по точности обеспечивали устройства Raven Envizio (76 баллов) и Sirio (58 баллов). В большинстве случаев количество огрехов и перекрытий находилось в пределах 0,5 %, что характеризует достаточно высокую точность работы сравниваемых навигационных устройств. В настоящее время многие системы параллельного вождения интегрированы в компьютерные блоки управления нормой внесения рабочей жидкости при работе опрыскивателей. Например, компания TeeJet предлагает систему CenterLine 230 Boom Pilot, позволяющую автоматически управлять штангой опрыскивателя посредством отключения секций, выполняющих перекрытие (повторную обработку посевов). Стоимость подобных интегрированных систем практически не отличается от стоимости исходных компонентов, однако производственные преимущества при их использовании очевидны: исключение ошибок в вождении агрегата (точная стыковка загонов, недопущение необработанных полос); большая производительность (точная стыковка, более высокая скорость движения); экономия рабочего времени; снижение напряжения и утомляемости водителя агрегата и, как следствие, более высокое качество его работы; рациональное расходование горюче-смазочных материалов, минеральных удобрений, семян, средств защиты растений.

На рекомендуемом первом этапе внедрения оборудования для точного вождения машинно-тракторных агрегатов главным преимуществом называется уменьшение перекрытий между отдельными проходами при обработке посевных площадей. Расчеты проводились с учетом следующих параметров: 10 %

перекрытий, кроме посева и работы с технологической колеей (там 5 %); технология производства пшеницы озимой без вспашки; размер участка 5 га. Для описанной выше технологии экономия составит: 0,31 чел. ч/га рабочего времени; 6,12 евро/га переменных издержек, из них 3 л/га дизельного топлива по цене 85 центов/л. К этому добавится снижение потерь семян, удобрений и средств защиты растений: 3,2 евро/га стоимость семян; 5,0 евро/га азотных удобрений; 11,6 евро/га остальных удобрений; 5,4 евро/га средств защиты растений. В сумме получается экономия 26,3 евро/га. При стоимости оборудования 20 000 евро и сроке амортизации 10 лет, а также с учетом годовой стоимости эксплуатации 3 000 евро безубыточность использования данной системы обеспечивается при использовании на площади 180-300 га. Реальной цифрой для дальнейших расчетов может быть информация о наличии 3,4-10,0 % перекрытий при работе по традиционным технологиям. Проверка в условиях Могилевской области показала наличие на посевах с технологической колеей перекрытий в пределах 3,8—5,2 % площади. В численном выражении типичная величина перекрытий при ширине технологической колеи 12 м составляет 45,2-62,3 см. Системы управления фирмы John Deere по информации производителя сокращают перекрытия на 10 %. Реальная точность вождения систем CenterLine (США) и TRACK-Guide (Германия), которые предлагаются для Республики Беларусь, составляет 30 см. Таким образом, возможное перекрытие площади может быть уменьшено до 2,7-3,0 %. Разница между эффектом работы с технологической колеей и применением системы GPS составляет 1,1-2,2 %. В условиях реальной эксплуатации сельскохозяйственной техники данная величина может быть не существенна для получения экономического эффекта и окупаемости системы вождения с GPS.

**Подруливающие устройства.** Системы подруливания подключаются к рулевому управлению машины и самостоятельно ведут агрегат по заданной траектории. Стоимость таких устройств обычно превышает 15 000 евро. Подруливающее устройство AgGPS EZ-Steer

- Рентабельность, простота в установке и использовании
- Установка антенны занимает всего лишь несколько минут. Система подключается к рулевому колесу - подключение к гидравлике не требуется\*
- Снижает напряжение и утомляемость водителя и исключает ошибки в управлении
- Применяется при обработке почвы, внесении удобрений, опрыскивании ядохимикатами, посевах и уборке урожая.

**Мобильные опорные станции (RTK).** Для достижения с помощью двухчастотного приемника GPS максимальной точности 2,5 см, требуется собственная опорная станция. Абсолютная точность 2,5 см сохраняется в течение нескольких лет. Таким образом, один раз измеренную точку или колею можно вновь найти спустя год с точностью 2,5 см. Опорная станция состоит из приемника GPS RTK с блоком электроснабжения и радиомодема. Время инициализации находится в диапазоне < 1 минуты.

С помощью данного модема параметры коррекции могут передаваться на расстояние припл. 3-10 км. Корректирующий сигнал не затеняется деревьями или зданиями. Опорную станцию можно привезти в багажнике и установить на краю поля (на это понадобится припл. 3 мин.). Если в одном хозяйстве используется несколько приемников GPS RTK (на транспортных средствах), то достаточно будет только одной опорной станции. Встроенный аккумулятор обеспечивает хорошую работоспособность системы в мобильном режиме. Кроме того, параметры местонахождения можно вносить в память, так что даже в мобильном режиме можно осуществлять работы, требующие повторяющейся максимальной точности.

***Особенности системы автоматического вождения на примере использования «Автопилот»:***

- система Ag Gps Autopilot способна осуществлять автоматическое вождение сельскохозяйственной техники с точностью до 2,5 сантиметров на всех операциях от посадки до уборки используя любые шаблоны движения;
- обеспечивается работа на любых операциях, в том числе при низких скоростях движения, эффективность работы в ночное время не снижается;
- система Autopilot интегрируется в гидравлику рулевой системы;
- механизатор может из кабины выбирать шаблон движения и наблюдать за работой системы, снижается утомляемость, повышается производительность труда;
- технология компенсации рельефа ТЗ гарантирует работу системы на неровностях поля; датчики положения, встроенные в контроллер, исправляют ошибки, вызванные наклоном, гарантируя точное вождение техники даже в холмистой местности;
- экономия ГСМ до 20%, семян, минеральных удобрений и СЗР.

Система автоматического вождения «Автопилот» позволяет вести круглосуточную работу при любой погоде на любом рельефе с неизменным качеством работ.

***Система Trimble® AgGPS® Autopilot™*** осуществляет автоматическое вождение трактора с точностью 2,5 см на всех операциях от посева до уборки, используя любые шаблоны движения. Увеличивает рабочее время, таким образом, работы выполняются тогда когда нужно, увеличивает точность работ, экономит топливо и материалы.

Простота в использовании Система Autopilot интегрируется в рулевую систему трактора, позволяет выбирать шаблон движения и наблюдать за работой системы. После того как машина окажется в начале ряда, система начнет автоматическое вождение, одновременно отображая на экране курс. Работа на любом рельефе. Технология компенсации неровности поля ТЗ™ гарантирует работу системы на склонах и холмистой местности. Внутренний датчик положения исправляет ошибки вызванные наклоном или поворотом машины, гарантируя точное определение положения трактора даже в холмистой местности.

***Система «Автопилот» состоит из следующих компонентов:***

1. Система параллельного вождения AgGPS EZ-Guide 500 RTK.
2. Комплект оборудования для гидросистемы трактора и датчики.
3. Базовая станция RTK.

Управление транспортным средством осуществляется через гидравлическую систему. Команды управления на исполнительные органы формируются в контроллере системы «Автопилот» - NavController II. Контроллер оснащен датчиками поворота и ускорений по трем осям. Обработывая данные от GPS приемника и встроенных датчиков, контроллер управляет поворотным механизмом машины. Исполнительным органом системы «Автопилот» является управляющий электрогидравлический клапан, встраиваемый непосредственно в гидросистему трактора. Получая команды от контроллера, клапан автоматически управляет поворотным механизмом трактора.

Для обратной связи используется гироскопический или потенциометрический датчик положения колес. Информация об угле повороте колес используется для уточнения управляющих команд.

- Работает с другими пакетами программ, поддерживая прямое экспортирование shape-файлов.

- Установка и настройка проводится с использованием или без использования пакетов программ для настольного ПК. Автоматическое управление соединением GPS.

- SMS Mobile определяет все источники GPS сигналов и позволяет выбрать вариант по умолчанию.

- В случае потери GPS сигнала, SMS Mobile повторно выберет источник по умолчанию.

- Поддерживает GPS сигналы, с последовательного или приемных устройств сигналов GPS на флэш карте.

- Автоматический выбор поля.

- Возможность записывать точки, линии и многоугольники во время вождения с использованием GPS.

- Возможность чертить точки, линии и многоугольники вручную с использованием или без использования GPS.

- Возможность редактирования начерченных или записанных точек, линий и многоугольников.

- Возможность получать или отображать значения параметров и характеристик с разных уровней на основании местоположения.

- Режим симуляции GPS для практики в офисе перед работой в поле.

- Возможно использование в демонстрационных целях.

- Сводная информация и просмотр карты уже собранных данных.

### **Лекция 3. Тема: Создание геопространственной основы. Основные методики, применяемое оборудование и инструменты (2 часа)**

Вопрос 1. Глобальные системы и техника геопозиционирования

Вопрос 2. Географические информационные системы (ГИС)

**Вопрос 1.** Системы точного земледелия получают все большее распространение в различных странах мира. При этом каждое сельскохозяйственное поле рассматривается как неоднородное по рельефу, почвенному составу и агрохимическим характеристикам. С учетом полученных данных предполагается применение различных агротехнологий для каждого специфического участка поля. В общей технологии возделывания полевых культур необходимые этапы выполняются с корректировкой на локальные условия отдельных участков поля. Предусматривается также система «обратной связи» с анализом величины полученного урожая по отдельным участкам поля. Наряду с обеспечением выровненного по площади состояния растений, указанные меры создают условия рационального использования регулируемых факторов продуктивности, оптимальное потребление элементов питания. Создаются также предпосылки для обеспечения экологической безопасности применяемых технологий. Практическое использование данных по состоянию отдельных участков поля стало возможным благодаря применению компьютерных устройств на мобильных агрегатах и спутниковой глобальной системы GPS позиционного определения места нахождения источника информации. Данные устройства позволяют наносить на карту поля ситуацию по характеристикам условий возделывания или итоговому урожаю по отдельным участкам.

Краткая характеристика современных навигационных систем Global Positioning System (GPS) – спутниковая навигационная система США, состоящая из работающих в единой сети 24 спутников, находящихся на 6 орбитах, высотой около 17000 км над поверхностью земли. Спутниковая система GPS известна также под другим названием – NAVSTAR. NAVSTAR GPS (NAVigation Satellites providing Time And Range; Global Positioning System) – обеспечивающие измерение времени и расстояния навигационные спутники; глобальная система позиционирования. Система позволяет в любом месте Земли, при любой погоде определить местоположение и скорость объектов, разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США. Основным принципом использования системы — определение местоположения путем измерения расстояний до объекта от точек с известными координатами – спутников. GLONASS – Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАС) – российская спутниковая система навигации. Основой системы должны являться 24 спутника, движущихся над поверхностью земли в 3-х орбитальных плоскостях с наклоном  $64,8^\circ$  и высотой 19100 км. Принцип измерения аналогичен американской системе GPS (NAVSTAR).

Создаваемые системы навигации GALILEO (ГАЛИЛЕО) - европейский проект спутниковой системы навигации. Европейская система предназначена для решения навигационных задач для любых подвижных объектов с точностью менее одного метра. Ныне существующие GPS приемники не смогут принимать и обрабатывать сигналы со спутников Галилео, хотя достигнута договоренность о совместимости и взаимном дополнении с системой NAVSTAR GPS третьего поколения. Так как финансирование проекта будет осуществляться, в том числе, за счет продажи лицензий производителям приемников, следует также ожидать, что цена их будет несколько выше сегодняшней. COMPASS BEIDOU (КОМПАС) – спутниковая система навигации, созданная в Китае. В 2000 г. включала в себя 2 спутника, расположенных на геостационарной орбите, и обеспечивала определение географических координат в Китае и на соседних территориях. Система Компас (также известная как Beidou-2) не расширение к ранее развернутому BEIDOU, а новая система, подобная в

принципах работы на GPS и Galileo. The Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) – индийская региональная навигационная спутниковая система. Разрабатывается индийской организацией по исследованию космоса (Indian Space Research Organization), контролируемой правительством Индии. Предполагается небольшим количеством спутников обеспечить точность местоопределения объектов (менее 20 м) на всей территории Индии и в радиусе 2000 км за ее пределами. Спутниковая группировка IRNSS будет состоять из семи спутников на геосинхронных орбитах. QZSS (Квази-Зенитная Спутниковая Система) – предполагается как региональная система передачи времени с тремя спутниками и расширение для GPS, которая была бы доступна в пределах Японии. Точность систем навигации Минимальная погрешность американской системы GPS составляет 3 м и зависит от качества GPS приемника, погодных условий, окружающего ландшафта и многих других факторов. США планирует вывести на орбиту новое поколение навигационных спутников и к 2013 г. повысить точность определения координат до 1 м. В настоящее время погрешность определения координат в системе ГЛОНАСС составляет порядка 50 м при использовании спутников «Глонасс» и порядка 15 м для спутников «Глонасс-М» с улучшенным бортовым стандартом частоты. К 2010 году планируется обеспечить точность до 5 м. Подобные погрешности исключают возможность использования систем навигации в сельском хозяйстве. Для повышения точности необходимо использовать, так называемый, DGPS сервис, обеспечивающий получение дополнительных дифференциальных поправок, уточняющих местоположение GPS-приемника.

DGPS (Differential Global Positioning System) - дифференциальная система GPS. Используется для исключения атмосферных искажений сигнала на приемниках. Сигналы DGPS коррекции посылают пользователям по радио. Основные источники сигналов DGPS - это радионавигационные маяки и спутники на геостационарной орбите. Сигналы дифференциальной коррекции от радиомаяков передаются на средних частотах (283,5-325 кГц). Радиосигналы на этих частотах подвержены отражению от земной поверхности. Поэтому холмистая и горная местность обычно не влияет на прием сигнала. Возможные системы навигации для сельского хозяйства На данном этапе развития сельскохозяйственной техники и соответствующих технологий наиболее перспективным является использование системы глобального позиционирования для обеспечения параллельного вождения агрегатов для защиты растений и внесения удобрений с заданным смещением относительно предыдущего прохода. При их использовании технологические операции выполняются с минимальными перекрытиями, экономятся удобрения и средства защиты растений, рабочее время. Это позволит отказаться от использования технологической колеи или пенных маркеров. Использование систем параллельного вождения облегчает работу оператора, позволяет работать в темное время суток и в условиях плохой видимости. Системы параллельного вождения подразделяются на курсоуказатели, системы подруливания и устройства автопилотирования. Курсоуказатели являются наиболее простыми устройствами и показывают на светодиодной панели или жидкокристаллическом экране отклонение агрегата от требуемой траектории. Стоимость таких устройств составляет 2500-4500 EUR. Системы подруливания подключаются к рулевому управлению машины и самостоятельно ведут агрегат по заданной траектории. Стоимость таких устройств обычно превышает 15 000 EUR. Системы автопилотирования обеспечивают автоматическое управление агрегатом, включая работу в загоне и

развороты. Их стоимость составляет до 45 000 EUR. Наиболее реально использование простых систем с курсоуказателями. Среди них известны следующие устройства: CenterLine 220/230 фирмы «TeeJet-LH», TrackGuide фирмы «Muller Electronic», Green Stare фирмы «John Deere», EZ-GUIDE 250/500 фирмы «Trimble», OUTBACK и E-Drive фирмы «AGROCOM». Например, GPS-курсоуказатель CenterLine 220 с линейкой светодиодов использует высококачественный GPS-приемник WAAS/EGNOS и дополнительно включает универсальный GPS-курсоуказатель в виде компактного переносного блока. Имеет навигационный курсоуказатель с линейкой светодиодов плюс графический дисплей для выдачи полной информации о выдерживании направления движения, а также высококачественный встроенный GPS-механизм с наружной антенной и износостойкую клавишную панель с фоновой подсветкой, легко различимой даже при недостаточном освещении. Простота настройки позволяет без затруднений начать пользование системой, при помощи которой можно устанавливать режимы движения по прямой (параллельным курсом) и по криволинейной траектории. Встроенная функция прогнозирования позволяет предвидеть будущее положение транспортного средства, также существует функция возврата к заданной точке, обеспечивается подача на выход сигнала скорости, полученного от радарного определителя для использования с другими системами, которые требуют сигнала скорости движения относительно поверхности почвы. Курсоуказатель Track Guide фирмы «Muller Elektronik» имеет цветной дисплей, информация с которого легко читается при любых условиях. Внизу дисплея графически отображается машина с ее соответствующим курсом. При желании изображение можно увеличить. После проезда вокруг поля рассчитывается площадь поверхности и определяется граница. Система также позволяет помечать препятствия, при приближении к которому появляется звуковой сигнал и визуальное предупреждение. Прибор оснащен встроенной памятью, которая способна сохранять как информацию о границах поля, так и местонахождение препятствий и линии прохождения каждого поля. Кроме этого, имеется функция, позволяющая присваивать и регистрировать названия полей. Прерванный рабочий процесс может быть сохранен и возобновлен в любое время. Обеспечиваемые преимущества: меньшее количество перекрывающихся полос, экономия продукта, топлива и повышенная производительность. Сокращение огрехов снижает возможность потери урожая, обеспечивает предупреждение о препятствиях и защиту от расходов на ремонт.

**Вопрос 2.** В последние несколько десятилетий широкое распространение получил особый класс информационных систем – географические информационные системы. ГИС представляют собой информационные системы, обеспечивающие сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных.

Область ГИС очень быстро развивается и захватывает все новые и новые сферы жизни и деятельности человека. Геоинформационные системы стали играть существенную роль в различных научных и прикладных сферах, в том числе и не связанных с географической наукой.

Причин такого успеха ГИС несколько: большая эффективность решения сложных проблем средствами ГИС;

огромное множество областей применения ГИС, так как данные системы оперируют пространственными данными, являющимися частью нашей повседневной жизни;

доступность для массового пользователя мощных персональных компьютеров, а также сложного программного обеспечения ГИС, снабженного удобным пользовательским интерфейсом.

В настоящее время геоинформационные системы достигли в развитии уровня коммерциализации, сформировалась ГИС-индустрия, оборот которой измеряется миллиардами долларов США. В ГИС-движение вовлечены миллионы пользователей практически во всех странах мира, которые образуют ГИС-сообщество. Геоинформационные системы влияют на многие аспекты нашей жизни – образование, бизнес, производство, научную деятельность и т.д.

Любая ГИС должна содержать в себе ряд обязательных компонентов Эффективная работа современных ГИС возможна только на основе мощной компьютерной системы. Аппаратные средства ГИС – это отдельные компьютеры или сеть компьютеров, а также устройства ввода-вывода информации, к которым относят принтеры, плоттеры, сканеры, дигитайзеры и др.

Аппаратные средства ГИС должны обеспечивать ряд операций: ввод в ГИС разнородной пространственной информации, полученной из различных источников (планово-картографические материалы, аэро- и космосъемка, лидарная и сонарная съемки, системы спутникового позиционирования, геодезическая съемка, системы автоматизированного проектирования, базы данных и др.);

хранение больших массивов пространственных данных в различных форматах их цифрового представления;

выполнение сложных операций ГИС-анализа и моделирования;

качественное представление данных в цифровой форме или на бумажных носителях.

Программное обеспечение ГИС включает системное программное обеспечение компьютерной системы (операционная система и др.) и программное средство ГИС, которое может быть представлено со-вокупностью программных продуктов, функции. Однако если базовый программный продукт не выполняет все основные функции ГИС, он рассматривается как специализированное ГИС-приложение, предназначенное для удовлетворения специфических запросов пользователей.

ГИС оперируют пространственными данными. Геоданные – это любые объекты, явления или процессы, локализованные в пространстве. В ГИС они состоят из двух взаимосвязанных частей:

пространственные данные, описывающие местоположение и геометрию геообъекта;

атрибутивные данные, определяющие качественные и количественные характеристики геообъекта.

Геоинформационное образование является совокупностью знаний геоинформационной науки. Специалист по ГИС, по мнению Консорциума университетов для географической информационной науки, должен владеть знаниями, умениями и навыками в рамках следующих блоков:

концептуальные основы ГИС;

организационные и институциональные аспекты;

особенности геопространственных данных;

аспекты проектирования ГИС;

обработка данных;

аналитические методы;

геовычисления;

картография и визуализация;  
моделирование данных;

Регламент ГИС определяет правила организации данных, информационной деятельности и технологии работ, а также требует использования ряда стандартов. Стандарты регламентируют определение, хранение, использование и перемещение данных между системами и приложениями. Они обеспечивают оптимальный баланс между совместным и индивидуальным использованием данных посредством определения минимальных требований для обмена ими.

***Пространственные данные в ГИС*** Географические информационные системы выполняют (с помощью аппаратно-программных средств) визуализацию, анализ и моделирование реального географического пространства, состоящего из отдельных геообъектов (например, здание метеостанции, поле температур, течение, опасное геологическое явление и др.). Согласно существующей терминологии, в ГИС любой конкретный или абстрактный объект реального мира, который может быть определен однозначным содержанием и границами и описан в ГИС в набора геоданных, носит название пространственного объекта (Spatial Entity Object) географического объекта (Geographic Entity).

По особенностям локализации в рамках геопространства различают следующие виды геообъектов: дискретные, непрерывные и обобщенные по площади. Дискретные геообъекты – это отдельные объекты реального земного пространства, имеющие однозначное локализованное в пространстве местоположение и четкие границы. Они могут находиться в определенной части пространства либо отсутствовать. В качестве примера таких объектов могут выступать отдельные метеостанции, реки, озера, города, страны и т.д.

Непрерывные геообъекты (поля, поверхности) распространены в рамках всего географического пространства. Такие параметры, как рельеф суши, дна мирового океана, распределение температура воздуха, значения магнитного поля и другие, могут быть зафиксированы в любом месте земного шара.

Геообъекты, обобщенные по площади, представляют собой математико-статистические обобщения концентраций отдельных объектов в пределах определенной территории, имеющей четко определенные границы в рамках административных районов, единиц физикоили экономико-географического районирования и т.д. Примерами таких геообъектов могут служить: густота речной сети в рамках административных районов, озерность физико-географической провинции, средняя температура воздуха по стране и др.

По геометрии географические объекты подразделяются на элементарные, составные и сложные.

Элементарный объект не имеет составных частей (например, здание гидростата). Составной объект образуется группой элементарных объектов, имеющих тесную пространственную взаимосвязь (например, речная система, состоящая из главной реки и ее притоков).

Сложный объект образуется группой объектов (элементарных или составных), имеющих логическую пространственную взаимосвязь (например, озера, входящие в определенную озерную группу).

По форме существования географические объекты подразделяются на материальные (реальные) и абстрактные (виртуальные). Материальные географические объекты, явления и процессы могут восприниматься непосредственно с помощью органов чувств либо опосредованно с применением специальных приборов. Абстрактные объекты могут отсутствовать в реальности, например, геообъекты, имевшие место в прошлом, геообъекты, существование которых предполагается в будущем, воображаемые (границы, изобаты, изотермы и т.п.).

Геообъекты в ГИС определяются единством пространственных, атрибутивных и временных характеристик. Пространственные характеристики геообъектов представляют собой сведения об их местоположении и геометрии. Описание местоположения нередко называют позиционным, поскольку оно определяет их в рамках географической или проекционной системы координат. Геометрия позволяет судить о форме, размерах и пространственных отношениях геообъектов, явлений, процессов в реальном земном пространстве.

Атрибутивные характеристики – это количественные и качественные данные, свойства, характеризующие геообъекты. Они хранятся в таблице атрибутов ГИС-слоя и неразрывно связаны с его пространственной составляющей.

Временные характеристики фиксируют время исследований геообъекта и показывают изменение его свойств с течением времени.

Основное требование, предъявляемое в ГИС к временным данным, – их актуальность.

В ГИС геообъекты могут быть представлены следующими наиболее распространенными компьютерными моделями: растровая; векторная; GRID; TIN.

#### **Лекция 4. Удаленный мониторинг развития сельскохозяйственных растений. Особенности применения спутников в зондировании земли (2 часа)**

1. Одноэтапные технологические решения, или системы реального времени. Двухэтапные технологические решения, или подход с использованием цифровых карт. Комбинация одноэтапных и двухэтапных технологических решений, или сенсорный подход с дополнением данными от цифровых карт.

**Вопрос 1.** Точное земледелие - это симбиоз различных технологических решений, которые могут увеличить урожайность и лучше управлять аграрными ресурсами. Мы выделили самые эффективные технологии, используя которые вы сможете стать точным фермером.

Представьте, что точное земледелие - это механические часы. Тогда шестеренки - это технологии, что внедряются в этот метод, без которых система не могла бы функционировать. И чем больше этих качественных шестеренок, тем более точное время показывают эти часы.

Если составить топ из инноваций, без которых точное земледелие не

могло бы существовать, то он бы выглядел так:

### 1. GPS/GNSS

Практически сразу же, как сельское хозяйство получило доступ к GPS в 1990-х, операторы и производители нашли способы использовать эту технологию для упрощения полевых работ. Как следствие появились GPS-трекеры, которые помогают отследить работу механизаторов, и антенны, благодаря которым можно точнее обрабатывать поля.

В свою очередь, GNSS делает эту технологию универсальной. Она охватывает все существующие системы спутникового позиционирования: GPS, Galileo и ГЛОНАСС.

Мониторинг техники с GPS.

### 2. Мобильные девайсы

Следующей важнейшей инновацией последних 20 лет является развитие мобильных устройств. "Без мобильного телефона мы, вероятно, по-прежнему сидели бы у амбара и ждали, пока кто-нибудь придет к нам и починит наши вещи", говорит фермер из Иллинойса Джон Райфштейк. Сейчас телефоны технологически эволюционировали в смартфоны и планшеты, число которых уже превысило население земли - 7,25 млрд штук.

Благодаря мобильным девайсам можно использовать различные приложения, которые помогут в агробизнесе: калькуляторы микроэлементов, прогноз погоды, карты полей и GPS-навигация.

### 3. Робототехника

Роботы решают различные задачи в сельском хозяйстве, такие как посадка культур, мониторинг за состоянием посевов даже срезание сорняков на огороде. Например, инженеры Knize создали автономную систему зерновой корзины, благодаря которой тележка следует за комбайном по полю на безопасном расстоянии. Еще один любопытный проект - Fendt MARS, суть которого - разработка маленьких и легких роботов для посева кукурузы, которые потребляют мало энергии, управляются с планшета и передают данные в облачное хранилище.

Fendt MARS.

### 4. Системы орошения

Инновации в области ирригации развиваются весьма стремительно, потому что фермеры часто сталкиваются с нехваткой воды из-за засухи. Современные технологические решения позволяют удаленно отслеживать и контролировать практически каждый аспект процесса орошения. Они экономят воду, время, топливо и износ транспортных средств.

Отдельно можно выделить VRI-систему, благодаря которой проводится мониторинг влажности почвы, составляется прогноз погоды, после чего можно эффективно распределить нужное количество воды по площади полей.

### 5. Интернет вещей

Интернет вещей - это концепция подключения устройств друг к другу с помощью сети. Эта технология используется, например, в умных домах. Этот подход применяется и в сельском хозяйстве, когда данные с полевых сенсоров и спутникового мониторинга отправляются к одному источнику.

## 6. Датчики

Беспроводные датчики используются в точном земледелии для сбора данных о влажности, уплотнении, плодородности почвы, климатических изменениях и других важных аспектах. Эти сведения помогают лучше распределить ресурсы фермера. К слову, существует даже датчик для определения уровня CO<sub>2</sub> в воздухе, который был разработан в Украине.

## 7. Переменная норма высева

Благодаря длительным полевым исследованиям было зафиксировано, что вследствие увеличения нормы высева на продуктивных участках полей и снижения их в менее плодородных зонах увеличивается урожайность посевов.

Для достижения лучших результатов использования технологии сменных норм высева нужно определить зоны, которые отличаются по типу почвы, топографии, ирригации, а также следует проследить историю урожайности за последние несколько лет.

Дифференцированный посев. Источник: [agro-office.com](http://agro-office.com)

## 8. Мониторинг погодных изменений

Пожалуй одна из самых непредсказуемых переменных в сельском хозяйстве - это погода. Но теперь и к ее изменениям можно подготовиться с помощью погодного моделирования. Например, система ClearAg - это платформа для сельского хозяйства, которая прогнозирует и моделирует возможные погодные условия, а затем указывает как это повлияет на орошение, качество почвы и урожайность.

Напомним, что приложения для прогноза погоды являются самыми популярными среди немецких фермеров.

## 9. Мониторинг количества азота в почве

В последнее время набирают популярность приложения для вычисления и мониторинга количества микроэлементов в почве. В частности, особый интерес у фермеров вызывают так называемые калькуляторы азота, ведь азотный цикл очень сложен и управлять им - непростая задача. Примером такого приложения является Adapt-N, благодаря которому можно проследить за уровнем азота в почве и сформировать азотную карту поля.

## 10. Стандартизация

Вопрос совместимости компонентов от различных производителей оборудования актуален и сейчас. Первым шагом на пути к решению данной проблемы стало формирование организации Agricultural Industry Electronics Foundation. Она включает в себя более 170 компаний и организаций, которые активно сотрудничают для приведения стандартов в действие. Самым успешным проектом AEF стал ISOBUS - это протокол совместимости трактора и подвесного оборудования от разных производителей.

## **Лекция 5. Беспилотные летательные аппараты и их применение в удаленном мониторинге (2 часа)**

Воздушная съемка, или плановая аэрофотосъемка осуществляется с помощью беспилотника с камерой, которая снимает в видимом и тепловом диапазоне.

Почему же использование БПЛА так важно для сельского хозяйства? Потому что сельское хозяйство без большого объема качественных данных превращается в большую проблему. Около половины «расходных материалов» на растениеводство (от жидкостей до пестицидов, фунгицидов и гербицидов) оказываются просто бесполезными, так как тратятся в большем количестве, чем нужно, или же находятся не там, где нужно, например, в канавах между, а не под самими растениями. Последствия подобной ситуации могут быть самыми плачевными, вплоть до полной потери урожая.

Как только в сельском хозяйстве смогут контролировать, что происходит с каждым растением, появится возможность более точно применять химикаты.

В небольших хозяйствах фермеры могут осуществлять контроль и ручную, но площади посевных полей не всегда позволяют это сделать оперативно. Большинство оценок, производимых в таких случаях, делаются наземным путем при помощи выезда на поля экспертной группы. С плоскости невозможно оценить весь масштаб происшествий. Поэтому для ускорения этого процесса необходимо использовать аэрофотосъемку в том числе летающих роботов - беспилотные летательные аппараты. Фермеры будут использовать пестициды и фунгициды только там, где это действительно необходимо, и в меньших количествах; таким образом, будет предотвращено заражение пищи и окружающей среды химикатами, и к тому же будут сэкономлены деньги.

Такие дефекты при посеве, как проплешины, гибель урожая после засухи или затопления и других факторов, требуют оперативного контроля, что может предоставить только беспилотная аэрофотосъемка.

Применение БПЛА в сельском хозяйстве дают возможность:

- создания электронных карт полей;
- инвентаризации сельхозугодий;
- оценить объем работ и контролировать их выполнение;
- вести оперативный мониторинг состояния посевов (БПЛА позволяет быстро и эффективно строить карты по всходам);
- определить индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - нормализованный вегетационный индекс);
- оценить всхожести сельскохозяйственных культур;
- прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур;
- проверить качество пропашности;
- вести экологический мониторинг сельскохозяйственных земель.

Аэрофотосъемочный БПЛА запускается, взлетает и садится в автоматическом режиме (на автопилоте) по загруженному маршруту. БПЛА, пролетая по заранее спланированному в ГИС маршруту, выполняет цифровую съемку местности. Результатом съемки являются снимки высокого разрешения на запрограммированных точках по GPS координатам. Выполнив аэрофотосъемочный маршрут, БПЛА приземляется в ту же точку, откуда он взлетел. Для каждого снимка получается полный набор цифровой информации - географические координаты центральной точки снимка, высота съемки, полный набор телеметрических данных для переноса и использования в общепринятых ГИС

системах (например, ArcView или MapInfo). Таким образом, все фотографии являются геопривязанными (например с помощью ГНСС приемника Stonex S10) и их можно сшить в один большой ортофотоплан поля. Аэрофотосъемка с БПЛА может заменить спутниковые снимки высокого разрешения для сельского хозяйства.

В настоящее время в сельском хозяйстве широкое применение получают технологии точного земледелия. Они базируются на новом взгляде на сельское хозяйство, в котором сельскохозяйственное поле, неоднородное по рельефу, агрохимическому содержанию питательных веществ, нуждается в применении на каждом участке наиболее эффективных агротехнологий. Технологии точного земледелия направлены на повышение продуктивности, уменьшение себестоимости продукции и сохранение окружающей среды.

Опыт использования беспилотников для аграрной аэрофотосъемки показал превосходство использования БПЛА вертолетного (мультироторного) (таких как Геоскан 401, Суперкам X8, МИИГАиК X4) над беспилотниками самолетного типа.

Это связано:

Во-первых, с тем, что самолеты даже с коротким циклом взлета и посадки быстро выходят из строя без нормальных условий для приземления. Самолеты могут быть лишь на наиболее крупных сельскохозяйственных предприятиях, но даже там их применение ограничено наличием подходящих взлетно-посадочных площадок.

Однако такие БПЛА как Trimble UX5, Суперкам S350-f, Геоскан 201, Птеро-СМ, ДЕЛЬТА-М, Геоскан 101, Птеро–Е5, Trimble Gatewing X100, Суперкам S250, Суперкам S240-f могут обходиться без взлетно-посадочной полосы, взлетая с катапульты и приземляться на парашютной системе. Между тем вертолеты показали в тех же условиях хорошую выносливость и за 40 минут покрывали достаточно большую площадь аэрофотоснимками.

Во-вторых, видео может оказаться более ценным, чем статичные изображения. Таким образом, создается ощущение, как будто фермер следит за территорией своими собственными глазами. Иногда собственный взгляд в режиме реального времени позволяет выявить проблемы и направить БПЛА туда, куда нужно, несомненно, подобный манёвр целесообразнее проводить с вертолётном (БПЛА мультироторного типа). На самом деле фермеры могут даже не знать изначально, что они ищут. Иногда наиболее сложным является именно определение области поиска, и здесь важно иметь общее представление о ситуации (как в мозаичной картинке).

БПЛА для сельского хозяйства могут решить многие вопросы быстрее и дешевле, чем спутники. Это означает, что своевременное проведение работ, съёмка в тот же день поможет принять оперативные меры по наиболее актуальным вопросам. И в то же время, изменения ситуации во времени также будут оперативно отражены. Задача сельскохозяйственной съёмки — показать фермерам то, что они не могут увидеть с поверхности, и временные рамки в данном случае особенно важны. При проведении регулярных аэрофотосъёмок

сельскохозяйственных земель ежедневно или раз в неделю и их постобработке в специализированном ПО, можно проследить динамику изменений в пределах одного и того же поля, и эти данные можно будет точно соотнести с продуктивностью земельных угодий.

Данные аэрофотосъёмки могут являться маркетинговым средством. Некоторые компании, занимающиеся продажей семян, проводят бесплатную аэрофотосъёмку урожая в качестве составной части продажи. В то же время, данные сельскохозяйственной съёмки представляют собой нечто большее, нежели обычное руководство для отслеживания посадок. Контроль за посадками с использованием снимков может внести качественные изменения в мониторинг сельскохозяйственных работ, поможет предотвратить лишние затраты на удобрения и воду, к тому же некоторые потребители часто готовы больше платить за продукцию, при выращивании которой использовалась аэрофотосъёмка и тем самым отдают предпочтение экологичному сельскому хозяйству и делают ставку на органическое земледелие.

#### NDVI в сельском хозяйстве

Как известно, отражение растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того, чтобы количественно оценить состояние растительности, широко применяется так называемый вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1. Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной, за счет поглощения света хлорофиллом, поэтому значения NDVI для растительности не могут быть меньше 0.

Тип объекта	Коэффициент отражения* в красной области спектра	Коэффициент отражения* в ближней инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Разреженная растительность	0.1	0.3	0.5
Открытая почва	0.25	0.3	0.025
Облака	0.25	0.25	0
Снег и лед	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25

Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5
--	-----	-----	------

\*Показывает, какая доля падающего освещения отражается объектом. Изменяется в диапазоне 0... 1.

Научный и технический прогресс позволяет сегодня широко использовать в земледелии современные технологии во время планирования и выполнения агротехнологий. Такими технологиями, несомненно, являются беспилотные летательные аппараты.

Точное земледелие включает в себя большое количество элементов, которые делятся на три основных этапа:

1. сбор информации о хозяйстве, поле, культуре;
2. анализ информации и принятие решения;
3. выполнение решений – проведение агротехнологической операции.

Перед тем, как приступить к земледелию, необходимо измерить поля по факту (если они не были измерены), чтобы составить точный план затрат на обрабатываемые площади. В результате измерений поля составляется электронная карта поля.

Электронная карта - это средство инвентаризации земель, определяющее ресурсный потенциал земель хозяйств. Также это средство, позволяющее точно рассчитать нормы расхода ГСМ, нормы внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР) в зависимости от площади. При составлении карт качества почв отдельных полей можно ввести дифференциальное внесение СЗР и удобрений в различных частях поля, что позволяет значительно сэкономить на внесении удобрений и СЗР, а также не перенасыщать почву. Карта полей дает возможность вести паспорта полей и севооборот хозяйства, подсчитать нужное количество семенного материала, осуществлять мониторинг техники и определять не только расход топлива, но и эффективное использование рабочего времени и др.

Электронная карта предоставляет возможность вести базу данных за неограниченный промежуток времени и по нескольким показателям.

Преимущества электронной карты поля очевидны:

- дает возможность вести учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, потому что базируется на точных данных: площади полей, расстоянии дорог, населенных пунктов и т.д;
- помогает провести полный анализ условий, которые влияют на рост растительности на данном поле;
- позволяет оптимизировать производство с целью получения максимального дохода, а также рационального использования в производстве ресурсов;
- вести паспортные данные о сельскохозяйственных угодьях с учетом привязки к году урожая;

- просмотр и анализ тематических карт агрохимического мониторинга полей, возделываемой культуры, вносимых удобрений, урожайности, экономической эффективности культуры и пр.;
- учет и анализ последствий при различных неблагоприятных погодных условиях и других показателей посредством беспилотной авиации (площади полеглости посевов, вымерзших участков посевов, стадии созревания, засоренность полей);
- формирование статистических справок и отчетов.

После получения электронной карты поля возможно проводить агрохимическое обследование полей и вносить дополнительную информацию (карты содержания основных элементов N, P, K, Ca, Mg, S, Ph, гумус) о поле в существующую базу данных.

### **Лекция 6. Создание и анализ электронных карт различных агрономических показателей как элементов (слоев) (4 часа)**

1. Компьютерные системы поддержки технологических решений.
2. Управление информацией и соответствующие системы на основе поддержки решений и моделей.
3. Использование информации в агротехнических решениях.

**Вопрос 1.** Вопросы, касающиеся использования беспилотных летательных аппаратов в системе точного земледелия с целью оперативного получения информации и фиксирования ее в электронной оболочке, что значительно сократит время на обнаружение проблемы состояния посевов сельскохозяйственных культур и время на принятие решения для устранения этой проблемы. Развитие науки, общественных отношений, колоссальный объем новой информации и новых информационных технологий во всех сферах вносят свои коррективы и в проблемы профессиональной подготовки специалистов.

В условиях открытого информационного общества и единого образовательного пространства формирование информационной культуры будущего специалиста, являющейся обязательным компонентом профессионального мастерства, становится актуальным. На данный момент применение беспилотных летательных аппаратов в точном земледелии является одним из перспективных направлений. На сегодняшний день в России данное направление находится на зачаточном уровне. Аэрофотосъемка с БПЛА более детализована, нежели космический снимок. Разрешение снимков возможно в сантиметрах на точку, за счет высот полета от 100 до 600 метров над поверхностью земли. Кроме того, БПЛА позволяют вести съемку даже в условиях облачности, что недоступно спутникам и затрудняет использование авиации. Внедрение данных технологий позволяет создавать точные электронные карты полей, в динамике контролировать состояние посевов сельскохозяйственных культур и оперативно принимать решения на изменяющуюся ситуацию.

Индекс NDVI, полученный с помощью БПЛА наиболее полно и детально отражает существующую ситуацию по каждому участку поля, чего трудно достичь за счет космической съемки. Знание точных значений индекса NDVI позволяет с достаточно высокой долей вероятности прогнозировать урожай-

ность зерновых культур. Для эффективного ведения сельскохозяйственного производства необходимо вести электронный учет всех проводимых операций на полях, данных планирования и мониторинга. С этими задачами успешно справляется программа «ЦПС Агроуправление». Дальнейшая отработка технологических операций по защите посевов от вредителей, а также и учет урожая пропашных культур, выполняемых с помощью БПЛА позволит с высокой точностью защитить посевы и своевременно внести коррективы в планирование работ.

**Вопрос 2.** Как свидетельствует мировой опыт, географические информационные системы все чаще используются в качестве средства поддержки пространственных решений в таких важных прикладных областях, как территориальное управление (организация территории, развитие инфраструктуры, природопользование, охрана окружающей среды), пространственный анализ, городское и региональное планирование.

Как уже отмечалось, СПР включают в себя широкий класс технологий, ориентированных на оказание фактологической, методической, логической и эвристической помощи лицу, решающему сложные, плохо структурированные проблемы (именно проблемы, так как хорошо структурированные проблемы превращаются в задачи с известным способом решения). Такие проблемы не настолько уникальны, чтобы разрабатывать для них специальный методический аппарат, и в то же время не настолько типичны, чтобы применить к ним уже существующие жесткие схемы решения. Следует отметить, что любая компьютерная система, начиная с простейшей СУБД и кончая программными средствами математического моделирования и оптимизации, может "оказывать поддержку" в процессе принятия решений. Однако в случае пространственных решений требуется то, чем располагает исключительно ГИС - способность интегрировать разнообразную пространственно распределенную информацию о географической среде и представлять ее пользователю в виде компьютерных карт и атласов. И хотя аналитические способности современных ГИС ограничены, их комбинирование с программными комплексами математического моделирования и технологиями искусственного интеллекта (экспертными и советующими системами) рождает совершенно новый вид информационной технологии - пространственные системы поддержки решений (ПСПР). В этих системах благодаря наличию функциональной связи между пространственными данными и пространственными моделями (имитационными и оптимизационными) создается интегрированная информационно-аналитическая среда, способствующая принятию сложных пространственных решений.

### **Примеры практического применения пространственных систем поддержки решений**

*1. Оптимизация территориальной и отраслевой структуры региональных промышленных комплексов.*

Определим региональный промышленный комплекс как совокупность взаимосвязанных, пространственно распределенных производств вместе с их технологическими и экономическими объектами, ресурсными и инвестици-

онными потребностями, а также особенностями экологического воздействия на природную среду региона.

Предложен вариант системы поддержки решений (DSS) для использования в планировании развития регионального промышленного комплекса. Она основана на оптимизационной модели, описывающей поведение определенной группы производств в условиях заданной цены на конечную продукцию, стоимости сырья и трудовых ресурсов, а также верхних и нижних пределов объемов производства и его отходов. При этом в качестве целевой функции рассматривается величина общего эколого-экономического эффекта, возникающего в результате подбора производств, которые в экономическом и экологическом отношении наиболее соответствуют принятым ограничениям.

Такой подход изначально не ориентирован на учет пространственных (географических) характеристик, которые могут сильно повлиять на результат моделирования, так как, например, в различных регионах существует значительная дифференциация потенциальных мест размещения по устойчивости природных экосистем к загрязнению. Подключение ГИС позволило адаптировать оптимизационную модель таким образом, что теперь в качестве ограничений используются также и конкретные особенности географической среды мест размещения производства. Полученная таким образом пространственная система поддержки решений (SDSS) была применена в планировании развития промышленности одной из провинций Китая. При этом в оптимизационную модель были включены географические параметры всех промышленных центров, внутренних и внешних рынков, а также более чем 140 альтернативных технологий (производств). В процессе моделирования одновременно использовались такие критерии, как величина валовой продукции и чистого дохода, экспорт ключевых товаров (угля и электроэнергии).

Стоимость продукции, внутренние и иностранные инвестиции, объемы используемых ресурсов и производственных отходов. Локальные (пространственно-распределенные) ограничения включали степень доступности данных технологий в конкретном месте, допустимую мощность производства, объем основных производственных ресурсов (угля, воды и электроэнергии), величину трудовых ресурсов. В итоге было получено решение (сценарий), при котором наилучшим образом сочетались глобальный (на уровне региона) экономический эффект с локальным географическим, выражающимся в оптимальном размещении выбранных производств с учетом экологических факторов.

*II. Пространственный анализ степени аварийного риска перевозки патологически опасных материалов.*

Французскими и голландскими специалистами была разработана система поддержки решений о наилучших, с точки зрения минимизации риска экологической катастрофы, маршрутах перевозки опасных для человека и окружающей среды материалов (радиоактивных отходов, токсичных химических веществ и т. п.). При этом SDSS была ориентирована на использование двух видов первичных данных:

- 1) пространственных, представленных в виде топографических и тема-

тических карт: данные о землепользовании, административные границы, автомобильные и железные дороги, гидрологическая и ландшафтная информация и др.;

2) атрибутивных, в основном ведомственных и статистических: состояние дорожной сети и ее пропускная способность, сложившиеся грузопотоки, кадастровая информация, плотность населения, характеристики перевозимых материалов, сведения об их производителях и потребителях и др.

В дальнейшем была создана общая база данных, которая позволила

Связать географические объекты с атрибутивными параметрами, существенными для оценки степени риска. В результате вся первичная информация трансформировалась в три типа данных, доступных и используемых в процессе принятия решений:

- пространственная информация в векторном формате: землепользование и автодорожная сеть (векторный формат здесь необходим для масштабирования в процессе использования электронных карт);

- пространственная информация в растровом формате: железные дороги, гидрография и административные границы;

- реляционная база данных: ведомственная и статистическая информация, привязанная к контурам, дугам и узлам (например, демографическая - к административным территориальным единицам, данные о транспортируемых материалах - к местам их производства, информация об условиях транспортировки к отрезкам дорог и т. п.).

Величина общего риска транспортировки опасных материалов определяется в системе с помощью расчета вероятности аварии на конкретном участке перевозки с учетом вероятного количества населения, попадающего в зону аварии и ряда географических факторов. Специальный моделирующий блок ПСПР - генератор маршрутов, - определяет маршруты минимального риска, которые высвечиваются на базовой карте на экране монитора. В это же время пользователь получает более детальную информацию по каждому отрезку дороги из реляционной базы данных.

III. *Регулирование использования пестицидов в сельском хозяйстве.* Разработка пространственной системы поддержки принятия решений в области регулирования использования пестицидов, обеспечивающей охрану почв и грунтовых вод от дальнейшего загрязнения пестицидами и их метаболитами в странах Европейского Союза является целью проекта, выполняемого Национальным институтом общественного здоровья и охраны окружающей среды Нидерландов (RIVM) совместно с тремя другими европейскими институтами. В основу разрабатываемой системы положена ГИС-технология, обеспечивающая пространственное решение задачи. При этом выделено четыре масштаба пространственного разрешения:

- масштаб отдельного поля;

- масштаб сельскохозяйственного предприятия или небольшого города;

- региональный масштаб (водосбор реки, провинция или страна);

- европейский масштаб, обеспечивающий рассмотрение всей территории ЕС.

Составляющими пространственной системы поддержки решений являются:

- модели физических и химических компонентов процесса выщелачивания и транспорта пестицидов поверхностными и подземными водами;
- база данных, содержащая наборы необходимой для моделирования и оценки пространственно-распределенной и атрибутивной информации;
- набор инструментов пространственного анализа и оценки. Результатом пространственного моделирования выщелачивания и транспорта пестицидов являются карты опасности пестицидного загрязнения почв и подземных вод соответствующего масштаба при существующих нормах использования пестицидов. Определяемые величины интенсивности выщелачивания пестицидов в подземные воды при различных нормах их применения и соответствующих экологических критериях (в качестве которых, например, используются токсикологические и экотоксикологические показатели), и составляют основу обоснования экологически сбалансированной пестицидной политики. Последняя авторами проекта определяется как политика взвешивания альтернатив и выбора наиболее подходящих управленческих решений на основе интеграции результатов оценки риска загрязнения подземных вод и показателей социальных, экономических и политических условий.

*IV. Обоснование рационального использования земельных ресурсов эрозивноопасных территорий.*

Водная эрозия почв относится к наиболее опасным и широко распространенным в мире почвенным деградационным процессам. Затрагивая практически все компоненты ландшафта, нарушая его экологический баланс, водная эрозия составляет комплексную экологическую проблему, одну из тех, решение которых обуславливает национальную безопасность многих стран мира. В частности, в Украине на конец 1985 г. было эродировано около трети сельскохозяйственных земель. В Западном Причерноморье, Левобережной степи и Южной лесостепи процент смытых почв существенно выше - здесь эродирован практически каждый второй гектар пашни. Оптимизация эрозионной подсистемы природно-хозяйственных систем сельскохозяйственного назначения, таким образом, для Украины, равно как и для многих других стран, является необходимым условием создания экологически сбалансированных высокопродуктивных агроландшафтов.

В связи с выраженной пространственной изменчивостью природных и хозяйственных факторов, задача эта даже для сравнительно небольшой территории имеет пространственно распределенный характер. Поэтому ГИС-технология с ее мощным потенциалом ввода, хранения и анализа пространственных данных является в настоящее время именно той технологией, которая способна реально обеспечить создание пространственно распределенных систем поддержки решений при проектировании почвозащитных систем земледелия на склонах, оптимальное задержание атмосферных осадков, получение высоких устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур высокого качества и низкой стоимости, расширенное воспроизводство природных ресурсов территории и полное предотвращение загрязнения окружающей среды

агрохимикатами и продуктами эрозии в целом. Это достигается за счет комплекса мероприятий, обеспечивающих рациональную структуру сельскохозяйственных угодий, рациональное размещение севооборотов, полей, рабочих участков и искусственных рубежей, почвоохранную обработку почвы и специальные противоэрозионные мероприятия, лесные полосы и гидротехнические сооружения. Для количественного обоснования данного комплекса необходим набор математических моделей процессов и методик расчета характеристик проектируемого агроландшафта, система ограничений и критериев оптимизации, которые и должны составлять основу базы знаний DSS, способной обеспечить научное обоснование рационального использования эрозионно-опасных земель.

*V. Интегральная оценка Территорий и географическая экспертиза.* Большой практический интерес представляет использование ГИС и пространственных систем поддержки решений в географической экспертизе. Здесь одной из важнейших является задача интегральной (синтетической) оценки ресурсного потенциала территории для целей комплексного социально-экономического планирования и управления. В лаборатории ГИС Одесского университета разработана методика интегральной оценки и картографирования ресурсного потенциала территорий с использованием синэргетического подхода, ГИС-технологии и экспертных оценок.

Как известно, серьезным недостатком существующих подходов к интегральной оценке ресурсного потенциала территории является суммативный (несистемный) характер методик и алгоритмов, лежащих в основе расчета соответствующих синтетических показателей. При этом набор исходных признаков (величин потенциалов отдельных ресурсов) рассматривается как простой набор-агрегат, хотя по сути он представляет собой синэргетическую целостность (систему), обладающую способностью самоорганизации в смысле влияния на величину интегральной оценки.

#### **Синэргетичность процедуры оценивания ресурсного потенциала**

Проявляется, например, в том, что значимость (полезность) одних видов ресурсов обусловлена наличием и величиной (потенциалом) других. Предложенный подход ориентирован на использование знаний экспертов о характере и величине таких синэргетических связей и реализуется с помощью специального интерфейса, обеспечивающего извлечение и формализацию в базе знаний ЭС соответствующей информации. С помощью данной методики составлена серия компьютерных карт природно-ресурсного потенциала приморского региона Украины (по основным типам природных ресурсов, а также интегрального) в разрезе административных районов Одесской, Николаевской, Херсонской, Запорожской, Донецкой областей и Автономное Республики Крым.

*VI. Территориальная организация сферы обслуживания и геомаркетинг.* В общем виде задача совершенствования территориальной организации обслуживания населения может быть сформулирована как задача оптимизации размещения предприятий и учреждений-производителей услуг относительно размещения реальных и потенциальных потребителей этих услуг с учетом

географических факторов: особенностей региональных систем расселения, демогеографической, геосоциальной и геоэкологической ситуаций. В известном смысле это - задача геомаркетинга, если под товаром понимать услуги, предоставляемые населению. По причине большого количества факторов, не поддающихся формализации, ее в общем случае невозможно решить, например, методами линейного программирования (хотя в частных случаях это можно и нужно делать).

Наиболее адекватным средством решения проблемы является использование моделей пространственного анализа (ПА) и технологии ГИС, обеспечивающих интегрированное картографическое представление необходимой для принятия решения информации, в том числе сопоставление модельных вариантов решения с реальной ситуацией.

Роль ГИС здесь сводится к обеспечению:

- 1) высокой степени интеграции пространственной и атрибутивной информации,
- 2) оперативности выполнения справочно-информационного поиска в территориальном разрезе путем прямого указания на объект компьютерной карты,
- 3) автоматизации расчета различных производных показателей, индексов и коэффициентов на основе первичной информации,
- 4) картографическому представлению результатов пространственного анализа моделирования (расчет кратчайших расстояний на сетях, "буферный" анализ, гравитационные и оптимизационные модели),
- 5) автоматизации тематического картографирования сферы обслуживания и созданию компьютерных атласов.

Описана методика использования программных пакетов Atlas-CIS и FLOWMAP для оптимизации размещения центров обслуживания (школьного, медицинского, торгового) населения региона. О том, насколько широкое применение может найти технология ПСПР в решении задач геомаркетинга и территориальной организации бизнеса, свидетельствуют международные конференции "ГИС и бизнес", уже ставшие регулярными.

**Вопрос 3.** Для обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая:

- цифровую модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции;
- сведения о дистанционном зондировании; информацию о свойствах и характеристиках почв;
- карты посевов по годам; историю обработки полей и т.д.

Для более эффективного использования, агрономическая ГИС должна содержать многослойную электронную карту хозяйства и атрибутивную базу данных истории полей с информацией о всех агротехнических мероприятиях. Обязательно должны быть включены слои мезорельефа, сведения о крутизне склонов, и их экспозиции, микроклимате, уровне грунтовых вод, содержании

гумуса в почве и т.д.

Атрибутивная база данных, содержащая данные различного характера, связана со слоями электронной карты.

Привязку начинают с гидрографической сети, овражно-балочного комплекса, в большинстве случаев дополняют дорожной сетью и другими объектами. К конкретным объектам цифровой карты также привязывают пользовательские базы данных, включающие информацию о посевных площадях, данные о состоянии почв и др.

Для решения задач комплексного анализа в сельском хозяйстве используются электронные карты с результатами спутниковых геодезических измерений. Использование таких методов позволяет получать детализированную информацию об обширных территориях (сельскохозяйственное предприятие, административный район и т.д.). Возможность определения конфигурации полей, их ориентировки, площади, направления вспашки, состояния полей на момент съемки и способствует оперативной оценке сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, создание системы информационной поддержки процессов принятия решений на основе ГИС-технологий позволяет повысить общую эффективность сельскохозяйственного производства за счет предоставления актуальной аналитической информации по всему комплексу необходимых параметров для принятия оптимальных и своевременных управленческих решений.

#### *Планирование агротехнических операций*

Информационные системы управления на базе геоинформационных технологий играют немаловажную роль в планировании агротехнических операций.

Агротехническое планирование включает в себя следующие виды работ: расчет потенциала и эффективности кадров и земельных ресурсов; обмер полей (например, путем объезда по контуру с высокоточным GPS-оборудованием с максимальной точностью 1-3 см.);

составление структуры посевных площадей и севооборотов в формате векторной электронной карты;

анализ потребности в технике и оборудовании;

расчет необходимого количества удобрений;

формирование очередности операций обработки почвы, внесения удобрений и средств защиты.

На основе вышеперечисленных данных ежедневно для водителей и механизаторов составляются плановые задания на следующий рабочий день и при необходимости утром в них вносятся изменения.

Планирование, осуществляемое на основе данных ГИС позволяет сократить (или полностью исключить) простой в работе в случае нехватки кадров или техники, снизить стоимость агротехнических операций на единицу обрабатываемой площади и улучшить показатели урожайности.

*Мониторинг агротехнических операций и состояния посевов* В ходе решения данной задачи осуществляется регистрация всех агротехнических

операций, затрат на их проведении, фиксация состояния посевов посредством наземных измерений, экспертных оценок агрономов и данных дистанционного зондирования Земли (аэро- и космических снимков).

Для мониторинга важны данные агрохимического анализа почв по каждому рабочему участку поля. Они могут быть получены двумя способами: в результате собственных изысканий с применением пробоотборников и лабораторий по анализу проб;

в результате агрохимических обследований, выполненных специализированной организацией.

Анализ конечного результата и составление отчетов С помощью ГИС удобно проводить анализ всех проведенных агротехнических операций и отображение этой информации в виде карт, таблиц, графиков. Учитывается поступление продукции с полей, реализация зерна с поля и с тока. При этом данные могут собираться как с диспетчерского центра, так и сниматься с электронных весов установленных на складах или токах. Принимается во внимание расходование пестицидов и удобрений. Изучается объем расходования семян при посеве.

Снизить расходование семян и удобрений становится возможным, например, при сведении к минимуму перекрытий посевных полос, используя систему параллельного вождения.

Прогнозировании урожайности культур и оценка потерь Система прогнозирования урожайности строится на методах наблюдения за состоянием посевов с учетом влияния природно-климатических условий. Данная технология позволяет отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, условий вегетации, определять сроки их созревания и оптимальные сроки начала уборки, проводить экономический анализ при минимальном и максимальном уровнях урожайности стабильно возможных для конкретных условий.

С учетом полученного прогноза урожайности на различных участках поля (включая затраты и возможную извлекаемую прибыль) принимается решение о дифференцированной обработке полей. С другой стороны, можно проанализировать возможные потери в соответствии с потенциалом урожая на бедных землях. Для более точного определения уровня урожайности на полях хозяйства используется система компьютерного мониторинга.

Эффективное функционирование картографической системы сельхозпредприятия возможно только при объединении разнородной информации в единую пространственную базу данных. Такая интеграция осуществляется путем построения объектной модели данных, в которую входят: картографические слои;

таблицы с информацией по объектам (посевные площади, поголовье скота, объемы производства, реализации и потребления сельскохозяйственной продукции и продовольствия и т.д.), аэро- и космические снимки.

Анализ данных в этой системе проводится средствами картографического анализа что дает возможность получать пространственно определенные данные прироста или снижения продуктивности.

В результате прогнозирования урожайности культур и оценки потерь руководство может рассчитать оптимальную цену на оборудование и материалы, в которых предприятие будет нуждаться в будущем, и определить закупочные цены на сельскохозяйственную продукцию.

Планирование, мониторинг и анализ использования техники Техническая подсистема сельскохозяйственных предприятий также не остается в стороне от использования геоинформационных технологий.

Она включает:

составление графиков использования техники и ее ремонта;

анализ использования техники и горюче-смазочных материалов (всех перемещений техники, расчет пробега и обработанных площадей);

определение оптимальных маршрутов движения и транспортировки техники от базы до обрабатываемых полей;

определение оптимальных маршрутов доставки урожая до пунктов приема;

контроль за скоростью перемещения техники при выполнении полевых работ;

определение длины гона или оптимального расстояния между полями и пунктами сдачи сельскохозяйственной продукции по цифровой карте; формирование учетных листов трактористов-машинистов. формирование путевых листов автотранспорта.

Более подробно аспекты использования систем мониторинга подвижных объектов рассматриваются в статье «Применение ГИС-технологий в системах управления транспортным предприятием».

Также ГИС помогут усовершенствовать процессы, протекающие в животноводческом секторе, например, эффективно и с незначительными затратами решить следующие задачи картирования районов: со скудной природной растительностью; опустынивания вследствие перегрузки пастбищ; деградации природной растительности на пастбищах; с выбиванием растительности и эрозией почвенного покрова вокруг водоемов, на трассах перегонов и т.п.;

с загрязненными стоками животноводческих комплексов и птицефабрик и т.д.

Нужно отметить, что из образующихся отходов в качестве удобрений используются в среднем менее 70%, остальная часть переполняет пруды- накопители, сбрасывается на прилегающие территории, попадая в водоемы и в подземные воды.

Руководящему составу использование ГИС-технологий поможет осуществить дистанционный контроль за работой хозяйства (управлять процессами в реальном времени), а также на основе получаемых отчетов анализировать эффективность вложений в производство.

Для диспетчерской службы применение данных технологий позволяет оперативно отслеживать местоположение техники, координировать работу механизаторов и водителей, в т.ч. посредством установления голосовой связи, а также контролировать расходование ГСМ и состояние техники.

Автоматизированное рабочее место агронома с использованием ГИС-

технологий:

предусматривает ведение истории полей по урожайности, культурам, применяемым удобрениям и средствам защиты;

позволяет планировать внесение удобрений с учетом индивидуальных особенностей полей;

оказывает информационную поддержку при оценке качества работ и выработке предложений по их планированию.

Геоинформационные системы позволяют сотрудникам экономического подразделения проводить сравнительный анализ плановых и фактических данных, автоматизировать учет рабочего времени и формирование отчетов и справок.

Особенно важны ГИС-технологии в управлении сельскохозяйственным производством в регионах с рискованным земледелием. Для данных территорий необходим постоянный контроль за условиями развития культур и проведением агротехнических и агрохимических мероприятий. Надзор может осуществляться как на отдельных полях, так и в пределах района, области или более обширной территории.

В европейских странах использование ГИС-приложений в сельском хозяйстве уже давно стало необходимым компонентом в системе управления хозяйством. В нашей стране имеющиеся у сельхозпроизводителей картографические материалы часто не пригодны для работы, отсутствуют достоверные сведения как о местности, так и о характере землепользования, а уровень информационной подготовки работников хозяйства, как правило, не отвечает современным требованиям.

Отсутствие систематизации и отображения на карте всех данных агропромышленной деятельности и результатов их анализа негативно влияет на эффективность сельскохозяйственного производства. Для руководства предприятий это прежде всего непроизводительные затраты, снижение урожайности и качества продукции.

Внедрение прикладной ГИС и обучение сотрудников помогает в сравнительно небольшие сроки повысить эффективность работы сельхозпредприятия.

Практика показывает, что период окупаемости инвестиций направленных на внедрение прикладных ГИС составляет от 1 года до 3-5 лет в зависимости от масштаба внедряемой системы, а первый эффект от внедрения системы отчетливо виден уже по окончанию первого сезона применения. Конкурентоспособность растет вместе с прибыльностью бизнеса в результате снижения затрат и роста эффективности использования имеющихся ресурсов.

### **Лекция 7. Требования к агрохимическому обслуживанию полей в цифровом растениеводстве (2 часа)**

1. Неоднородность (изменчивость) почвы и рельефа.

2. Неоднородность поражения сорняками, вредителями и болезнями.

**Вопрос 1.** Однородность по отношению к почве означает, «что выбираемый участок должен быть покрыт одной и той же почвой, относящейся к одному и тому же типу, подтипу, роду, виду и разновидности ...» (Козловский,

Роде, 1976; Дмитриев, 2001). Неоднородность может пониматься также и как варьирование свойств (Розанов, 1983), а однородность соответственно – как константность значений в пределах изучаемого объекта (Дмитриев, 2001). Неоднородность почвенного покрова – явление закономерное и повсеместное, проявляется как в пространстве, так и во времени. Распределение почв на земной поверхности представляет собой сложную мозаичную картину. Климат, растительность, почвообразующие породы и рельеф, а также этапы эволюции этих факторов во времени изменяются от места к месту и создают на разных участках поверхности множество вариантов сочетания почв друг с другом (Почвоведение, 1989). По американской классификации выделено более 100 больших групп почв (great soil groups). Согласно советской классификации почв (1977 г.) на территории бывшего СССР выделено более 250 почвенных подтипов. По классификации почв России (2004 г.) насчитывается 848 подтипов почв. Обобщая имеющуюся информацию можно сказать, что пространственная изменчивость почвенного покрова проявляется на глобальном, региональном, локальном и микро- уровнях. В основе этих градаций лежит учение В. В. Докучаева о почвообразующих факторах и процессах. Глобальный уровень неоднородности почвенного покрова обусловлен термическими особенностями климата и условиями увлажнения. Характеризует разнообразие типов и подтипов почв на Земной поверхности, представлен широтными почвенно-климатическими поясами, почвенно-биоклиматическими областями, почвенными зонами и подзонами. Региональный уровень неоднородности почвенного покрова обусловлен особенностями температурного режима почв и сезонного увлажнения внутри почвенных зон (почвенные фации и провинции), особенностями рельефа и почвообразующих пород (почвенные округа). Характеризует разнообразие родов, видов и подвидов почв. К этому уровню можно отнести также неоднородность почв по гранулометрическому составу (разновидность почв). Локальный уровень неоднородности почвенного покрова проявляется внутри элементарных почвенных ареалов (ЭПА) – небольших участках территории (1–20 га), на которых почвенный покров представлен одним разрядом почв. Может быть обусловлен вариабельностью таких признаков, как микрорельеф, мощность и форма границ почвенных горизонтов, мощность двучленных наносов, глубина вскипания, наличие новообразований и включений, аналитические показатели и др. Для агроземов важное значение имеет также неоднородность агрохимических и агрофизических свойств пахотного слоя. К микронеоднородности можно отнести неоднородность состава корнеобитаемого слоя. В ризосфере варьирует не только концентрация элементов питания, но, вероятно, и качественный и количественный состав микрофлоры, а также продуктов жизнедеятельности растений и микроорганизмов (органические кислоты, сахара, аминокислоты, витамины, антибиотики, ростовые вещества и т.д.). Временная неоднородность (динамика) свойств почв обусловлена изменением внешних условий в течение года, сезона и суток. Динамичны во времени состав почвенного раствора и почвенного воздуха, влажность почвы, структура и окислительно-восстановительный потенциал. На пахотных почвах динамика концентрации почвенного раствора

в течение вегетационного периода будет зависеть от скорости трансформации вносимых в почву веществ и параметров почвы, определяющих процессы ионного обмена в системе твердая фаза – почвенный раствор. Элементарные почвенные ареалы, чередуясь в пространстве, образуют почвенные комбинации, которые создают структуру почвенного покрова (СПП). СПП – это закономерная совокупность ЭПА, характерными параметрами которой являются (Почвоведение, 1989):

1. компонентность (состав);
2. сложность (частота пространственной смены ареалов, форма контуров);
3. контрастность (степень генетического и агрономического различия между ареалами). Под контрастностью почвенного покрова понимается степень различия свойств, состава и плодородия соседних почв, т.е. степень качественной дифференциации почвенного покрова.

Однородным предлагается считать почвенный покров, содержащий не менее 70% основной почвенной разности. Сложность и контрастность в совокупности характеризуют неоднородность почвенного покрова. В качестве агрономического критерия контрастности предлагается использовать принадлежность компонентов почвенных комбинаций к различным категориям земель по ограничивающим факторам и способам их преодоления. По этому критерию установлено пять степеней контрастности почв по отношению к той или иной культуре или группе культур:

1. слабоконтрастные – принадлежащие к категориям земель, при годных для использования с ограничениями, которые могут быть преодолены малозатратными мелиорациями;
2. среднеконтрастные – с участием категорий земель, пригодных для использования с ограничениями, которые могут быть пре одолены среднезатратными мелиорациями;
3. сильноконтрастные – с участием земель, потенциально пригодных для использования после сложных высокозатратных мелиорации;
4. очень сильно контрастные – с участием земель, мало пригодных для использования вследствие неустраняемых ограничений;
5. чрезвычайно контрастные – с участием земель, непригодных для возделывания. Предлагается различать также пять степеней сложности почвенных комбинаций, учитывающих долю площади угодья, характеризующейся неблагоприятными свойствами (например, засоление, переувлажнение и т.д.), а также степень расчлененности участка.

**Вопрос 2.** Вредные организмы как составные и объективные компоненты агробиоценозов также потребляют энергию, поступающую в полевое сообщество. Чем большая доля этой энергии.

энергии используется вредными организмами, тем меньше ее остается для утилизации культурой, продуктивность которой из-за этого в количественном и качественном отношении снижается.

Основной вред, причиняемый сорняками, болезнями и вредителями сельскохозяйственному производству, заключается в резком снижении урожаев

культур с одновременным ухудшением качества продукции. Несмотря на рост уровня интенсивности земледелия, потери урожая от вредных организмов не снижаются. Ущерб, наносимый культурным растениям вредными организмами, выражается в различной форме. Различают прямой (видимый) и скрытый (косвенный) вред.

Видимый прямой вред выражается в том, что вредные организмы оказывают непосредственно негативное воздействие на культуру. Так, сорняки перехватывают у культурных растений почвенную влагу, ЭЛе18. Потери урожая сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков, %.

Элементы минерального питания, вызывают полегание посевов (вьюнок полевой, подмаренник цепкий и др.). Вредные насекомые (тли, долгоносики, совки, клопы, саранча и др.), используя различные органы растений в качестве источника пищи, повреждают, а нередко полностью уничтожают листья, стебли и корни. Фитопатогенные вредные организмы (вирусы, бактерии, грибы и т.д.) вызывают заболевание всего растения (которое позднее погибает) или его отдельных вегетативных и репродуктивных органов, что резко снижает урожайность культуры.

Косвенный вред выражается в негативной роли конкретного вида вредных организмов и проявляется в дополнительных экономических затратах, например на очистку, сушку засоренной бункерной массы зерновых. Кроме того, одни виды вредных организмов способствуют развитию других групп и видов. Такие сорняки, как бодяк полевой, марь белая, являются резерваторами свекловичного долгоносика; паслен черный, вьюнок полевой - озимой совки; пырей ползучий - вредной черепашки, а сорняки из семейства капустных привлекают многих вредных насекомых - бабочку-капустницу, земляную блошку, капустную тлю и т. д.

Многие сорняки способствуют массовому поражению посевов различными болезнями. Пырей ползучий, василистник узколистый служат промежуточными растениями-хозяевами стеблевой, желтой и корончатой ржавчины хлебных злаков. Щетинники сизый и зеленый, марь белая, паслен черный, василек синий, бодяк полевой и др. выступают резерваторами корневой гнили яровой пшеницы, мозаики злаковых культур, вирусных заболеваний картофеля.

Кроме того, вредные насекомые часто распространяют многие болезни растений. Так, цикадки, тли, трипсы - переносчики болезней пасленовых, вирусных болезней картофеля, табака и других культур.

Ущерб, причиняемый культурным растениям вредными организмами, весьма существен. Но главный негативный результат заключается в снижении качества выращиваемой продукции. Так, зерно хлебных злаков, собранное с засоренных полей, обычно невыполненно и имеет плохие хлебопекарные качества. Примесь в нем плодов куколя обыкновенного, клоповника мусорного, полыни горькой и других сорняков резко ухудшает качество выпекаемого хлеба. При скармливании молочному скоту сена с примесью полыни горькой,

пижмы обыкновенной, хвоща полевого получают молоко, непригодное для пищевых целей.

Зерно пшеницы, поврежденное вредной черепашкой, трипсами, жужелицами, имеет низкие хлебопекарные качества, а семена - пониженную всхожесть. При заболевании растений фузариозом получают продукцию в виде «пьяного» хлеба, «пьяного» масла, употребление которых в пищу вызывает острые отравления. Пораженные фомозом клубни картофеля, корнеплоды свеклы, моркови загнивают при хранении, теряют товарный вид и пищевые качества. У корнеплодов сахарной свеклы, полученных от растений, больных мучнистой росой, заметно снижается устойчивость к поражению гнилями в период хранения. При церкоспорозе отмечают накопление в корнеплодах свеклы веществ, отрицательно влияющих на технологические процессы сахарования и уменьшающих выход сахара.

Интенсификация земледелия не устраняет отрицательного влияния сорняков, болезней и вредителей на плодородие почвы и урожай культур, а иногда, наоборот, усиливает его. Многие факторы интенсификации земледелия (увеличение доз удобрений, минимализация обработки почвы, орошение, внедрение интенсивных короткостебельных сортов зерновых культур и др.), кроме специальных, направленных непосредственно на борьбу с вредными организмами, не способствуют снижению численности сорняков, болезней, вредителей.

Прогноз и учет - основа планирования интегрированной системы защиты растений. Научно обоснованная организация защиты растений строится на учете численности и вредоносности сорняков, вредителей и болезней растений, прогнозе их появления. Прогноз необходим для планирования объемов проведения работ по защите растений, определения методов и мероприятий в звеньях системы земледелия, потребности в химических, биологических средствах, материальных и трудовых затратах.

## **Лекция 8. Методы, оборудование и инструменты для составления карт заданий для дифференцированного подхода внесения удобрений и средств защиты растений (2 часа)**

Важным аспектом технологии точного земледелия является экономия. Она складывается из различных факторов: уменьшения затрат на покупку и ремонт почвообрабатывающей техники за счет её рационального использования и своевременного обслуживания; снижения времени и трудоёмкости процесса обработки за счёт применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания почвы, таких как параллельное вождение, картирование урожайности и т.п.; уменьшения затрат на различные химикаты и минеральные удобрения, вследствие использования специализированных методик внесения. Одним из видов таких методик является внесение удобрений дифференцированным способом, т.е. избирательно, там, где потребность в удобрениях особенно высока. Работа по такой методике подразделяется на два основных способа: внесение в режиме on-line (режим реального времени) и

внесение в режиме off-line (с предварительно подготовленной картой поля).

Методика дифференцированного внесения удобрений в режиме off-line. В качестве примера использованы данные за 2010 г. по дифференцированному внесению фосфорных удобрений на площади 40 га. Вносимое удобрение — аммофос, содержащий в своём составе 12% азота и 52% фосфора. Количество внесённых удобрений на указанную площадь составило 3100 кг. Для реализации дифференцированного внесения в режиме off-line использовали следующий набор оборудования и техники: навесной разбрасыватель с контроллером и сервоприводом механизма управления заслонками Amazone ZA-M 1500, агрегатируемый с трактором «Беларусь-1221», высокоточный GPS-приёмник AgGPS 252, бортовой компьютер Insight фирмы Ag Leader, позволяющий загружать электронные карты полей. Работа по дифференцированному внесению удобрений способом off-line выполняется в следующем порядке. На I этапе создаётся электронная карта по обеспеченности почвы химическими элементами питания. Данную карту можно получить несколькими способами, отличающимися друг от друга набором используемого оборудования и технических средств картирования полей. В нашем случае для получения электронного контура поля использовали систему картирования урожайности комбайна Claas Lexion 540С, которая обеспечивает определение урожайности на каждом участке. Данные по урожайности во время уборочных работ записываются на чипкарту бортового компьютера Cebis комбайна, затем обрабатываются на стационарном компьютере в программе Agro-Map Start, таким образом получают электронную карту поля по урожайности. Анализ урожайности позволяет определить «проблемные» участки, то есть участки с минимальным уровнем урожайности. Таким образом, использование элементов точного земледелия позволяет отбирать почвенные пробы не со всего поля, а с «проблемных» участков, что существенно экономит время и затраты на получение агрохимических исследований.

II этап — отбор почвы. Методика отбора почвенных проб заключается в выделении элементарных участков, согласно методическим указаниям. Так как при создании карты-задания для дифференцированного внесения удобрений опирались на данные урожайности, то выделение элементарных участков основано было на использовании результатов мониторинга урожайности. Применяя контуры урожайности в качестве элементарных ареалов, отобрали 20 почвенных образцов. Глубину отбора почвенных проб для выявления основных агрохимических показателей почвенного плодородия определяли мощностью пахотного слоя (0—30 см), а отбор проб в заданной точке осуществляли автоматическим пробоотборником Fritzmeier Prof! 90. Технология отбора в точном земледелии состоит, прежде всего, в определении координат выделенных участков на электронной карте. Местонахождение таких участков на поле устанавливается с помощью высокоточного GPS-приёмника. Карта урожайности позволяет избежать отбора проб на границе участков с различным уровнем урожайности.

Данные результатов анализа свидетельствуют о неоднородности агрохимических показателей по опытному полю. Даже в границах одного контура с

определённым уровнем урожайности соседствуют участки с содержанием гумуса от 1,9 до 4,7%, подвижных соединений фосфора — от 15 до 26 мг/кг и щёлочногидролизуемого азота — от 42 до 90 мг/кг почвы. Достичь нормативной окупаемости удобрений в таких условиях без технологии точного земледелия практически невозможно. Полученные результаты указывают на прямую зависимость между содержанием гумуса, подвижного фосфора, щёлочногидролизуемого азота и урожайностью. Чем выше содержание гумуса, фосфора и азота в почве, тем выше уровень урожайности.

Участки полей с содержанием гумуса менее 2%, как правило, подвержены водной эрозии, когда заметен выход материнской породы на поверхность. Менее значимая зависимость получена по содержанию подвижного калия.

III этап — расчёт дозы удобрений на планируемую урожай.

Таким образом, в зависимости от урожайности была рассчитана норма внесения удобрений по элементарным участкам, которая составила от 25,4 до 46,2 кг/га д.в.

Рассчитанные значения норм внесения удобрений формируют в программе SMS-Advanced карту-задание на внесение удобрений (рис. 1), состоящую из элементарных участков, цвет которых соответствует заданной норме внесения фосфорных удобрений в физическом весе. Например, тёмному цвету соответствует норма внесения 88,8 кг/га в физическом весе; серому — 62,9 кг/га; белому — 48,8 кг/га. Каждый из элементарных участков имеет размер 24x24 м (исходя из ширины захвата разбрасывателя) и свою географическую привязку. Горизонтальный ряд, состоящий из множества таких элементарных участков, соответствует одному проходу разбрасывателя минеральных удобрений Amazone ZA-M 1500.

IV этап — дифференцированное внесение удобрений в режиме off-line. Карта-задание загружается в бортовой компьютер Insight. При движении агрегата по полю во время внесения удобрений бортовой компьютер Insight, используя данные высокоточного GPS-приёмника AgGPS 252, считывает информацию с карты- задания и с помощью бортового компьютера Amatron+ управляет положением дозирующих заслонок, увеличивая или уменьшая подачу удобрений. Причём изменение подачи удобрений на правый и левый диски разбрасывателя осуществляется независимо. Компьютер Insight позволяет контролировать различные параметры: скорость движения агрегата, норму внесения удобрений, обработанную площадь, количество внесённых удобрений.

Агрегат «Беларус -1221»+ Amazone ZA-M 1500, выполняющий операцию внесения удобрений по способу off-line на участке опытного поля Оренбургского ГАУ.

Для точного движения агрегата используется навигационная система параллельного вождения AgGPS EZ-Guide Plus.

По завершении работы в бортовом компьютере трактора Insight формируется карта выполнения задания, отражающая истинное внесение аммофоса на определённом участке поля. Данная карта несколько отличается от карты-

задания. Происходит это потому, что по ходу движения разбрасыватель не может резко изменить заданную норму внесения удобрения и она на участке с нормой внесения, отличающейся от предыдущего, будет равна среднеарифметическому значению предыдущего и текущего элементарных участков. Следовательно, на следующем участке количество внесённого аммофоса уже будет точно соответствовать заданной норме.

Применение дифференциального внесения способом off-line при возделывании сельскохозяйственных культур позволяет рационально использовать дорогостоящие минеральные удобрения, что в сравнении с традиционным фоновым методом экономит до 500 руб. с одного гектара обрабатываемой площади.

### **Лекция 9. Влияние внешних факторов на рост и развитие растений. Метеоданные как инструмент принятия правильных управленческих решений в растениеводстве (2 часа)**

Погода влияет на распространение вредителей и болезней, доступность воды, а также на уровень потребности растений в удобрениях. Таким образом, чтобы повысить урожайность, фермерам необходимо проводить сельскохозяйственные работы, исходя из метеорологических условий.

В частности, при планировании ирригации полей следует учитывать количество выпавших осадков, а для эффективной соляризации почвы лучше всего дожидаться теплых солнечных дней. Также данные о погоде для сельского хозяйства помогают определить оптимальные для региона культуры и лучшее время для их посева.

Какая существует взаимосвязь между погодой, климатом и сельским хозяйством?

Изменение климата и сельское хозяйство взаимовлияют друг на друга. В частности, повышение температуры может улучшить условия для выращивания местных культур или позволить выращивать более теплолюбивые сорта. В то же время для некоторых растений высокие температуры губительны, из-за чего может пострадать все производство. Таким образом, изменение климата требует от аграриев адаптации методов ведения сельского хозяйства.

Чаще всего фермеры используют краткосрочные прогнозы (1-7 дней). При этом для планирования полевых работ также полезны среднесрочные (до месяца) и долгосрочные (до года) прогнозы, а также прогнозы опасных природных явлений. Внезапные погодные аномалии наносят ущерб не только посевам, но и хранящимся семенам. Однако с помощью агропрогнозов фермеры могут своевременно адаптировать сельское хозяйство к угрозам и минимизировать последствия.

Погода влияет не только на развитие растений, но и на разведение домашнего скота, в частности обеспечение его кормом. Таким образом, неблагоприятные условия могут оказаться катастрофическими для всего сельского хозяйства.

Высокие температуры, засуха, наводнения и внезапные заморозки угрожают посевам, особенно на таких уязвимых стадиях роста, как прорастание семян. В частности, засуха — одна из основных причин экономических потерь и снижения урожайности зерновых .

Фактор погоды в сельском хозяйстве имеет и косвенное влияние. Метеорологические условия могут воздействовать на почвенные процессы, динамику поглощения растениями азота, распространение вредителей и т.д. Обильные дожди провоцируют эрозию почвы и дефицит питательных веществ, а засуха приводит к засолению почв.

Ведение сельского хозяйства на основе точных метеорологических данных позволяет минимизировать риски.

Проблема Открытых Данных Для Мониторинга Погоды В Сельском Хозяйстве?

Учитывая важность прогнозирования погоды в сельском хозяйстве участники агросектора стремятся получать наиболее точную информацию. Она позволяет увеличить прибыль и одновременно снизить затраты на производство. Именно поэтому предпочтительнее работать с данными не общедоступных ресурсов, а более надежных агрометеостанций и поставщиков услуг.

Проблема заключается в том, что обычно для глобального мониторинга погоды используются открытые данные метеостанций, которые охватывают ограниченную территорию. При этом, чем больше расстояние, тем ниже точность показаний. Типовые модели позволяют составлять прогнозы на основе конкретных погодных условий. Однако вследствие низкой точности результатов такой метод не подходит, например, для страхования аграрного производства.

В частности, ошибки в прогнозировании дождей могут привести к дефициту влаги у растений. Таким образом, метеорологические данные, находящиеся в открытом доступе, не являются оптимальным решением для мониторинга погоды в сельском хозяйстве.

EOSDA Crop Monitoring: Точные И Гиперлокальные Данные О Погоде Для Сельского Хозяйства

Чтобы предоставлять максимально точные метеорологические прогнозы и погодную аналитику, мы объединили инструменты платформы EOSDA Crop Monitoring с решениями Meteomatics. Это позволило добиться наилучших результатов, в том числе за счет того, что:

- показания глобальной сети сенсоров и станций дополняются спутниковыми данными;

- повышается плотность рабочих зон;

- проводится топографический анализ местности;

- задействуются передовые алгоритмы обработки информации;

- используются уникальные наборы данных высокого разрешения (пространственных и временных) гиперлокальной направленности;

- объединяются нескольких моделей прогнозирования для получения максимально точной информации.

Зачастую фермерам не хватает данных общедоступных ресурсов для оценки погоды в сельском хозяйстве. Например, не каждый ресурс предоставляет информацию о сумме активных температур, почасовых осадках и проценте облачности. Более того, даже наличие данных не гарантирует их точность. Все зависит от используемой модели прогноза погоды: чем меньше у нее разрешение, тем хуже результат.

Модель Meteomatics имеет разрешение до 90 метров, благодаря чему пользователи получают максимально точную информацию. Также компания предоставляет исторические данные о погоде, начиная с 1979 года, в то время как в открытых источниках доступна лишь текущая сводка.

Сравнение точности метеорологических данных общедоступных ресурсов и API Meteomatics. Источник: Meteomatics

Гиперлокальное отслеживание погоды в сельском хозяйстве повышает точность прогнозов. Для этого в EOSDA Crop Monitoring используются несколько источников Meteomatics:

- данные метеостанций (сеть национальных станций и другие поставщики);

- вычисления на основе моделей прогноза погоды (ECMWF, ECMWF-ERA5, DWD-ICON, MF-Arome, GFS, HRRR, UKMO, Ensembles и др.);

- показания радаров (информация об осадках, собираемая радиолокационными сетями по всему миру);

- данные со спутников (Himawari-8, Meteosat, GOES-16, GOES-17).

Используя решения EOSDA Crop Monitoring, сельхозпроизводители могут отслеживать текущие метеорологические показатели для каждого поля в отдельности. Они включают температуру, облачность, влажность, скорость и направление ветра, количество осадков и т.д. Дополнительно платформа позволяет выбрать метрическую или имперскую систему мер.

Агропрогнозы EOSDA Crop Monitoring отличает высокое качество, поскольку данные собираются из нескольких источников, а не только из ближайшего к полю. При этом используются сложные алгоритмы, которые выбирают оптимальные варианты среди доступных радаров, спутников, сенсоров и метеостанций. Также алгоритмы анализируют топографические особенности местности и учитывают адиабатические поправки на разницу высот между станциями и исследуемой территорией. Такой подход обеспечивает максимальную точность данных, что чрезвычайно важно при организации умного сельского хозяйства.

**EOSDA Crop Monitoring**

Инструмент для аналитики полей с доступом к спутниковым снимкам с высоким разрешением – определяйте проблемные зоны дистанционно!

**НАЗНАЧИТЬ ДЕМОПОПРОБОВАТЬ СЕЙЧАС!**

Анализ Погоды В Сельском Хозяйстве С Помощью EOSDA Crop Monitoring

Крупные аграрные компании могут использовать EOSDA Crop Monitoring как удобный и универсальный центр сбора и анализа данных. Независимо от выбранной версии платформы (сайт, мобильное приложение или

API) пользователи получают доступ к историческим метеорологическим данным, прогнозу погоды на 14 дней и информации о ситуации на полях в режиме реального времени.

#### Точные Прогнозы

Помимо текущих погодных условий (раздел «Погода сегодня») EOSDA Crop Monitoring предлагает прогноз на ближайшие 14 дней. Эти данные позволяют снизить или предотвратить потери урожая в результате негативных природных явлений. Таким образом повышается финансовая и социальная эффективность сельского хозяйства.

Используя метеоданные и прогнозы погоды в режиме реального времени, сельскохозяйственные кооперативы могут оптимизировать ирригационные и посевные работы. Это позволяет снизить экономические затраты и улучшить состояние растений.

#### Точный прогноз погоды в EOSDA Crop Monitoring

#### Исторические Погодные Данные

С помощью EOSDA Crop Monitoring участники агросектора могут получить не только точные прогнозы на ближайшие две недели, но также данные о температурах и осадках за предыдущие годы (суточных и накопленных). Соответствующие графики позволяют проследить влияние погоды на сельское хозяйство с периодичностью в пять лет, начиная с 1979 года, и сравнить средние показатели.

График суточных и накопленных осадков с тенденциями за последние пять лет и шкала стадий роста культур в EOSDA Crop Monitoring.

Таким образом, анализируя исторические погодные данные, фермеры могут адаптировать сельское хозяйство к климатическим особенностям местности и эффективнее спрогнозировать развитие культур в будущем.

График суточных температур и шкала суммы активных температур в EOSDA Crop Monitoring.

Агроконсультанты могут использовать платформу для информирования клиентов о влиянии погоды на местное сельское хозяйство. Такие данные пригодятся и для компаний, занимающихся финансированием и страхованием аграрного сектора. Более того, алгоритмы, основанные на машинном обучении, позволяют разрабатывать решения для повышения безопасности сельского хозяйства и уменьшения его зависимости от погодных условий.

**EOSDA Crop Monitoring — Универсальное Решение Для Анализа Погоды В Сельском Хозяйстве**

Данные о погоде можно сочетать и с другими инструментами EOSDA Crop Monitoring, в частности вегетационными индексами и моделями стадий роста растений. Так, в процессе моделирования платформа учитывает различную информацию о погоде, например особенности температурного режима.

Процветание сельского хозяйства во многом зависит от состояния земли, метеорологических условий и качества посадочного материала. Выбрать подходящие сорта и повысить плодородие почвы относительно просто, гораздо сложнее — управлять погодными рисками. Град, наводнения, сильные морозы или жара могут уничтожить урожай в кратчайшие сроки. Точный

прогноз погоды позволяет своевременно узнать о потенциальной угрозе и подготовиться к ней сельское хозяйство. В частности, EOSDA Crop Monitoring заблаговременно предупреждает фермеров о погодных аномалиях вроде заморозков и засухи.

При анализе погоды в сельском хозяйстве следует учитывать, что расхождение реальной температуры воздуха и данных прогноза погоды в один градус практически не влияет на состояние растений. Однако явления с накопительным эффектом — неблагоприятная температура почвы, постоянное заболачивание, а также длительный тепловой или холодовой стресс — могут привести к гибели культур. Поэтому важно учитывать не только текущую метеорологическую сводку, но и информацию за прошедшие несколько недель.

В EOSDA Crop Monitoring есть все типы данных, которые позволяют успешно вести сельское хозяйство в любых погодных условиях. Начните пользоваться платформой уже сегодня.

## **Лекция 10. Основные составные элементы агрометеостанции. Работа в программных продуктах (2 часа)**

1. Датчики для определения свойств почвы.
2. Датчики для измерения свойств растений и травостоев.
3. Датчики для компьютерного мониторинга и составления карт урожайности.

**Вопрос 1.** Важным элементом технологии точного земледелия, как для работы в режиме реального времени (on-line), так и в режиме off-line, является использование различных датчиков (сенсоров). В то время как датчики, предназначенные для управления и контроля режима работы двигателей и сельскохозяйственных машин, уже давно относятся к стандартам современной аграрной техники, датчики для управления и контроля технологических параметров в настоящее время еще мало применяются на практике. Датчики предназначены для измерения свойств почвы, растений или животных по электрическим и электромагнитным, оптическим, оптоэлектрическим и радиометрическим, механическим, лазерным, акустическим, пневматическим и термическим параметрам. Наибольшее практическое применение получили датчики, работающие с привлечением спектрального анализа при измерении и определении различий в отражении и абсорбции солнечного света растительной

массой или почвой. При спектральном анализе используют различные части спектра света. Применение датчиков, работающих по принципу измерения абсорбции и отражения спектра света, основано на том, что каждая субстанция и органическая часть растений имеет свои характерные свойства, если их облучают светом. Специфичность этих свойств такая же, как у отпечатка пальца человека (finger print). Это означает, что по спектру света, который растительная проба отражает при облучении, при соответствующей калибровке можно узнать, какие вещества она содержит и в каком количестве. Поэтому спектрометрический анализ находит многостороннее применение, причем чаще всего он проводится в ближней части инфракрасного света. Во многих датчиках,

которые предлагают на рынке для определения содержания азота в посевах культурных растений и оценки качества продуктов, предусмотрено именно измерение отражения. Отражения растений и почвы при определенной длине волны в значительной степени различаются. Это явление используют также для обнаружения с помощью оптоэлектронных датчиков покрытия почвы культурными растениями и ее засорения, а также для определения мелкомасштабного разнообразия почвы, особенно содержания гумуса. С помощью лазерных датчиков, помимо отражения растениями солнечного света, измеряют также отражение лазерных лучей. Однако эти датчики в сельском хозяйстве, по сравнению с другими отраслями, пока мало применяются. Некоторыми фирмами (Claas, Case, New Holland и др.) зерновые комбайны снабжаются

лазерными датчиками, предназначенными для определения расстояния (лазерный пилот), например до края травостоя. Поэтому при управлении комбайном можно полностью использовать ширину захвата жатки. Датчики для измерения электрических свойств почвы применяют в сельском хозяйстве с целью определения содержания в ней влажности, концентрации ионов солей, а также текстуры. Для измерения свойств почвы и растений, таких как сопротивление пенетрации, упругости и устойчивости травостоя к полеганию, служат механические датчики. Большинство датчиков могут использоваться как в режиме реального времени, так и при двухэтапном режиме работы. Датчики, предназначенные для систем, работающих в режиме реального времени, служат для измерения, диагностики и распознавания свойств почвы и растений, их интерпретации и реализации результатов в технологических процессах в одном рабочем проходе. При двухэтапном режиме работы системы данные измерений датчиков передаются для обработки, накопления и вывода решений на внешние компьютеры, а команды – исполнительным устройствам с помощью картзаданий (чип-карт).

**Определение плотности почвы.** Плотность почвы, т. е. масса твердой фазы определенного объема почвы ненарушенной структуры, достаточно легко определяется в полевых условиях. Ее можно упрощенно использовать в качестве обобщенного показателя физического состояния почвы, который является одним из показателей ее пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур. Плотность характеризует структуру почвы; ее увеличение указывает на уплотнение почвы, возрастание сопротивления пенетрации и рост корней растений. Ее величина сказывается на всем комплексе почвенно-физических свойств в водном, воздушном и тепловом режимах. С плотностью почвы связан важный агрофизический показатель – сопротивление пенетрации почвы (грунта), Рреп, под которым понимают сопротивление почвы внедрению в нее металлического зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра (обычно 1–5 мм). Этот показатель измеряют специальными приборами – пенетрометрами (твердомерами). При внедрении зонда (рисунок 1, а) происходят разнообразные процессы: уплотнение почвы, деформации сдвига, а также трение металла о почву. Поэтому этот параметр отражает разнообразную информацию, но в большинстве случаев представляет интерес как самостоятельная величина – сопротивление пенетрации.

Определение влажности, содержания солей и текстуры почвы по ее электропроводности. При возделывании культурных растений необходима различная информация о почве, которая используется при закладке посевов и управлении ими, например, данные о текстуре (виде почвы), плотности, ионообменных свойствах почвы, о доступной растениям влаге и о воздухоемкости почвы. Гранулометрический состав влияет на плотность залегания почвы и на ее ионообменные свойства. Чем меньше механические частицы почвы, тем больше ее плотность и тем значительнее обменная способность почвы для минеральных питательных элементов. Объем и распределения пор в почве влияют на содержание и формы связи влаги в почве и на воздушный режим, а благодаря этому – и на ее тепловой режим. Следовательно, текстура характеризует важные свойства почвы, которые, как и обусловленное ими плодородие поля, отличаются большой мелкомасштабной неоднородностью. Для дифференцированной системы проведения агротехнических мероприятий необходимо определять ее с помощью соответствующей измерительной техники, работа которой основана на учете различий физических свойств текстуры. Для этой цели на практике получило распространение измерение электропроводности или обратной ей величины – электрического сопротивления почвы. Электропроводность является функцией плотности почвы, определяющей текстуру, содержание влаги, электропроводность почвенного раствора и температуру. Измерение электропроводности почвы давно уже применяется в сельском хозяйстве для определения содержания солей в сильно засоленных почвах. При этом электроды устанавливаются в почву, и измеряют величину тока на месте, либо отбирают пробы почвы и измеряют их электропроводность в условиях лаборатории. Для упрощения этого дорогостоящего метода при определении влажности и концентраций солей в почве разработана бесконтактная техника измерения электрической емкости или электромагнитной индукции. Например, при непрерывном измерении содержания солей и влажности почвы используют датчики типа Triscan австралийской фирмы Sentek sensor technologies, измеряющие электрическую емкость на разных глубинах почвенного профиля. Электрическое поле в датчике распространяется через стены пластмассовой трубы в почву и после соответствующей калибровки он позволяет получить точные данные о влажности почвы и содержании в ней солей. Однако на глинистых почвах эти датчики не функционируют. Специальное программное обеспечение (IrriMax) позволяет проследить развитие засоления почв, изменение влажности почвы и «движение» солей при орошении и внесении удобрений, а также сопоставлять их с данными распределения осадков и изменения уровня стояния грунтовых вод. С помощью соответствующих интерфейсов датчики можно интегрировать в разные системы. Система Enviro Scan служит для проведения непрерывного и автоматизированного контроля влажности почвы. Для определения электрической проводимости измеряют либо постоянный ток, либо электромагнитные поля переменного тока (электромагнитную индукцию). Об измерении свидетельствует интегрированный сигнал, поступающий из почвы с определенной глубины. Этот интегрированный сигнал коррелирует с содержанием солей и ила, влаги и органических

веществ в почве. На практике наиболее распространенными являются прибор Veris 3100 американской фирмы Veris Technologies, работающий на основе измерения постоянного тока, и прибор EM38 канадской фирмы Geonics Limited, который основан на измерении электромагнитной индукции.

**Вопрос 2.** Для бесконтактного измерения параметров, характеризующих рост и развитие растений (образование биомассы) и других параметров травостоев, применяют системы отражения дневного света и излучений искусственных источников. Чаще всего работы проводят с использованием лазерных датчиков. На практике успешно применяют также и систему, работающую по механическому принципу (Crop Meter).

*Датчики для определения доз азота (N-датчики) и регуляторов роста.* Датчики для определения доз азота имеют большое практическое значение для дифференцированного внесения второй или третьей дозы азотных удобрений. На рынке представлены системы датчиков, работающие на основе рефлексии видимого света, лазерных лучей и сопротивления травостоев изгибу. В основе работы датчика заложен следующий принцип: в достаточной степени богатые азотом посевы, благодаря более высокому содержанию хлорофилла, имеют иной спектр рефлексии, чем менее обеспеченные. Они функционируют на основе измерения интенсивности либо падающего на посев дневного света, либо искусственного источника излучения и отражения неабсорбированной доли излучения. Такие датчики могут работать как в системах реального времени (On-line), так и в двухэтапных системах (Off-line).

Датчики, работающие на основе рефлексии света или лазерных лучей. Среди подобных систем YARA N-датчик (фирма AgriCon) достаточно давно представлен на рынке (с 1999 г.). Прибор с датчиком (фотодиодами) устанавливают 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. В кабине трактора монтируется агрономический терминал для обслуживания датчика. Результаты измерения очень точные, с интервалом в одну секунду. Одновременно происходит измерение и обработка данных, полученных с двух полос – справа и слева от трактора площадью 25–35 м<sup>2</sup> каждая.

Предпосылкой эффективной работы этих систем является отсутствие у посевов симптомов недостатка хлорофилла, которые вызваны не дефицитом азота, а другими факторами, например, недостатком серы и магния. Чрезвычайное засорение посевов так же ограничивает работу датчика, как и наличие вялых листьев после засухи. Повреждение листовой поверхности болезнями, вызывающими листовую пятнистость, тоже искажает результаты измерения. Избыток влаги на листовой поверхности, например роса на листьях, вызывает проблемы в работе датчика. По отраженному посевом свету рассчитывают спектральный индекс (содержание азота и биомасса). Для каждой культуры с учетом дозы поглощения азота растительным покровом устанавливается функция регулирования, используемая как растениеводческий алгоритм. В зависимости от степени изменения поглощения азота и биомассы доза азота варьирует от 0 до 120 кг/га. Для приспособления датчика к полевым условиям –

конкретной ситуации местонахождения требуется его калибровка. При этом определяют диапазон регулирования между минимальными и максимальными дозами удобрения, в пределах которого система самостоятельно рассчитывает необходимое количество азота на основе алгоритма аппликации. Калибровку проводят на основе измерения рефлексии посевов и соответствия каждому измеряемому показателю рефлексии определенного количества азота. На основе многолетних анализов и многочисленных опытов с посевами озимых зерновых установлено, что применение YARA N-датчика позволяет: – повысить урожайность на 3–7 %; – снизить затраты азотных удобрений на 10–15 %; – повысить содержание сырого протеина у озимой пшеницы на 0,2–0,5 %.

**Вопрос 3.** Компьютерный мониторинг и картирование урожайности культур, убираемых зерноуборочными и кормоуборочными комбайнами, являются важным и полезным источником информации о неоднородности урожайности на отдельных участках полей. Мониторинг урожайности не позволяет установить причины возникновения различий в урожае, но показывает, на каких участках поля следует проводить дальнейший анализ, чтобы выяснить, чем вызвана эта разница. Проведение такого мониторинга на протяжении нескольких лет способствует выявлению зон с разным потенциалом урожайности в пределах одного поля. Накопленные данные можно использовать прежде всего для: – контроля эффективности растениеводческих мероприятий; – идентификации проблемных зон; – выявления и установления границ зон управления (Management Units); – определения стратегии хозяйствования на данном поле; – проведения экономического анализа. Картирование урожайности в настоящее время проводится для всех культур, которые убирают зерноуборочными комбайнами (зерновые, зернобобовые, кукуруза на зерно, рапс и другие масличные культуры), а также кормоуборочными комбайнами. Предпосылкой для этого стало оснащение уборочной техники дГСПриемниками и датчиками для измерения урожайности. Накопление и обработка данных измерения осуществляются с помощью электронного вычислительного модуля, бортовой информационной системы и программы картографирования (ГИС), заложенной в бортовых компьютерах. При картировании урожайности производят дГСПозиционирование комбайна (координаты и время), геокодирование измерительных данных и их накопление в бортовом компьютере. Зерноуборочные комбайны всех ведущих фирм оборудованы такими системами. На рынке предлагают также первые кормоуборочные комбайны с соответствующими датчиками. Помимо датчиков урожайности, зерноуборочные комбайны оборудованы датчиками, предназначенными для измерения влажности зерна, а также определения рабочей скорости и ширины захвата, а в некоторых случаях – датчиками наклона.

Датчики урожайности измеряют поток зерна в головке элеватора зерноуборочного комбайна. По принципу работы различают системы прямого измерения, которые определяют объем (массу) потока зерна или число импульсов, создаваемых зерном при прохождении по головке элеватора, и системы косвенного измерения, которые фиксируют абсорбцию зерном лучей от

внешнего источника излучения. Датчики систем прямого измерения работают по принципу определения: – объема (массы) проходящего зерна с помощью фотоячейки; – импульсов усилий, которые проходящий поток зерна вызывает на измерительном щупе или при ударе об отбойный щиток. В первом случае в головке зернового элеватора находятся фотоячейки, которые измеряют период, в течение которого свет не достигает фотодатчика.

Чем больше этот временной отрезок, тем выше уровень наполнения ячеек элеватора или объем протекающего зерна. Для определения проходимости зерна (масса на единицу времени) необходимо знать его насыпную плотность. Она считается во время уборки постоянной величиной. Урожайность вычисляют из объема конуса насыпки и насыпной плотности. Для компенсации влияния склона на показатель урожайности при работе уборочного комбайна в наклонном положении системы измерения объема дополнительно оборудуются датчиками наклона. По этому принципу на практике работают, например, системы Ceres 2, Ceres 8000 фирмы RDS Technology Ltd и зерноуборочные комбайны фирмы Claas, оборудованные системой Quantimeter 2 фирмы Agrosom. У систем, которые работают по принципу определения усилий и вызванных ими импульсов, в головке зернового элеватора помещают либо измерительный щуп.

***Датчики для определения засоренности, поражения болезнями и вредителями.*** Совершенствование методов мониторинга засоренности посевов и их степени поражения вредными организмами для дифференцированного внесения средств защиты растений с учетом мелкомасштабной неоднородности их распределения по полю весьма актуально. На протяжении многих лет ведутся интенсивные работы по использованию с этой целью системы датчиков. Датчики для определения засоренности. Процесс дифференцированного внесения гербицидов с учетом неоднородности засорения включает следующие этапы: – сбор данных, необходимых для принятия решения о внесении гербицидов с учетом мелкомасштабной неоднородности засоренности поля; – обработка данных и их оценка с точки зрения экологического и экономического факторов; – управление работой опрыскивателя с учетом неоднородной засоренности поля. Двухэтапные технологические решения весьма затратны, на практике преимущественное значение приобретают системы, работающие в масштабе реального времени, когда сбор данных, их обработка и управление опрыскивателем проводятся в одном рабочем проходе. Для сбора данных необходимы эффективные датчики, предназначенные для оперативного определения числа сорняков. Компьютер оперативно передает сигналы управления опрыскивателю. При этом большое значение имеет расстояние между датчиком и штангой опрыскивателя. Необходимо также учитывать, что система датчиков должна обследовать достаточный размер площади, чтобы достоверно оценить порог вредоносности. Из всех испытанных систем датчиков для определения засоренности наибольшее практическое значение имеют две системы: – системы на основе оптических или оптоэлектронных датчиков; – системы на основе цифровой расшифровки снимков. Эффективность системы зависит от того, достаточно ли определение общей засоренности или

необходимо учитывать отдельные виды сорняков. Системы оптических или оптоэлектронных датчиков лишь определяют общий объем сорняков, не различая их, а с помощью системы, предназначенной для цифровой расшифровки снимков, можно также определить видовой состав.

## **Лекция 11. Экономическая эффективность применяемых элементов цифровых технологий в растениеводстве (2 часа)**

1. Общие аспекты эффективности применения технологий точного земледелия в хозяйствах.

2. Экономический эффект от дифференцированного управления посевами с учетом мелкомасштабной неоднородности полей.

**Вопрос 1.** Экономические аспекты растениеводства – отправная точка и главный стимулирующий фактор развития систем точного земледелия. На последних крупных совещаниях с участием главы государства, посвящённых развитию АПК, экономические категории «рентабельность производства» и «себестоимость сельхозпродукции» принимались в качестве основополагающих показателей состояния отрасли в целом. Целью планирования становится определение требуемых затрат на семена, удобрения, средства защиты растений, ГСМ и оплату труда, - которые приведут к самой высокой валовой прибыли, но необязательно к самой высокой урожайности.

Общий корректный экономический результат может быть достигнут только на основе знания показателей эффективности его составляющих, то есть показателей эффективности каждого поля. А может быть по каждому элементарному участку, отражённому в паспорте сельхозугодий хозяйства.

Таким образом, экономический потенциал каждого отдельного поля, а сегодня рассматриваются и ещё более мелкие структуры в виде так называемых «зон однородности», становится предметом точного или, как часто говорят, прецизионного анализа. Прецизионного с точки зрения распределения в пространстве и времени. Обобщенное определение термина «точного земледелия» приведено в работе, посвященной памяти Pierre Robert: «Точное земледелие - такой тип сельскохозяйственного производства, при котором увеличивается количество правильных (корректных) решений на единицу площади земли за единицу времени с соответствующим чистым экономическим эффектом».

Важность временной составляющей рассмотрим на следующем примере. Доказана зависимость урожайности озимых культур от соблюдения оптимальных агротехнических сроков ранневесенней подкормки растений азотными удобрениями. При достижении 5°C среднесуточных температур на внесение удобрений отводится 5-7 дней наилучших условий для роста и развития растений, когда в пахотном слое объем твердой фазы составляет 43-44 %, пористость, заполненная водой, – 34–35 % и воздухом 21–23%. Такое состояние бывает весной в первые пять дней физической спелости почвы. По истечении этого времени эффективность подкормки существенно снижается.

Машины с колёсной формулой 6x4 способны двигаться без буксования на полях с содержанием влаги более 30%. Давление на почву менее 0.016 МПа (с меньшим давлением на опорную поверхность способны двигаться только аппараты на воздушной подушке).

Для гербицидов плотность покрытия должна быть 20–30 капель/см<sup>2</sup>, для инсектицидов и фунгицидов не более 50–60 капель/см<sup>2</sup>. Для того чтобы снизить риски некачественной обработки, компания «Сингента» разработала эксклюзивные распылители для внесения всех гербицидов, которые позволяют производить опрыскивание со сниженной нормой расхода рабочей жидкости (до 100 л/га) без потери эффективности обработки. Это по сути переход к малообъёмному опрыскиванию. Расход рабочей жидкости Для гербицидов, л/га 200 Для фунгицидов, л/га 300–400.

1. Диаметр капель  $d > 350$  мкм является критическим для водных растворов с поверхностным натяжением  $40 \cdot 10^{-3}$  Н/м, так как они плохо удерживаются на листовой поверхности большинства растений. 2. Для обеспечения плотности покрытия  $N > 30$  шт./см<sup>2</sup> минимальная норма расхода водных рабочих жидкостей: -  $dm$  350 мкм ~ 100 л/га; -  $dm$  250 мкм ~ 25 л/га; -  $dm$  200 мкм ~ 10 л/га. Классификация размеров капель по ВСПС/АSАЕ

- внутрипольная неоднородность содержания питательных веществ в почвах; - влияние внутрипольной неоднородности почв на урожайность зерновых культур и качество зерна; - технология и технические средства для механизированного отбора почвенных проб и дифференцированного внесения минеральных удобрений; - агроэкономическая и биоэнергетическая эффективность дифференциации доз минеральных удобрений с учётом внутрипольной неоднородности содержания питательных веществ в почве.

Именно с появлением ГСП (GPS, глобальных систем позиционирования) открылись новые возможности для перехода от традиционной технологии земледелия к ТЗ, при которой можно влиять на агроэкосистему с учётом локальной изменчивости почвенного покрова внутри отдельного поля.

При определённых условиях сигнал может не доходить до приёмника, или приходиться со значительными искажениями или задержками: - практически невозможно определить своё точное местонахождение в глубине квартиры внутри железобетонного здания, в подвале или в тоннеле; - уровень приёма сигнала от спутников может серьёзно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой облачности; - искажают сигналы GPS помехи от наземных источников мощных электромагнитных излучений; - геометрия рабочего созвездия спутников, от которых принимаются сигналы в текущий отрезок времени может быть удачной (приближённая к зениту и максимально рассредоточенная по небосклону) или неудачной (приближённая к горизонту и максимально тяготеющая к одной линии).

Наиболее благоприятными условиями для приёма сигналов GPS являются: - приём сигналов одновременно от не менее, чем 5 спутников; - расположение приёмника на высоких, открытых местах, обращённых к юго-западу; - расположение антенны в самой высокой точке и отсутствии поблизости затеняющих её конструкций; - наличие под антенной стальной пластины-экрана в качестве основания; - долговременная работа приёмника без периодических включений/выключений повышает точность позиционирования; - приём сигналов от спутниковых и наземных систем формирования дифференциальных поправок позиционирования Навигационное оборудование «ROSA»

обеспечивает: бесплатный сервис приёма и обработки сигналов GPS/GLONASS + дифференцированная поправка EGNOS + PPP (Precise Point Positioning) алгоритм обработки, корректирующий искажения сигнала при прохождении ионосферы = субметровая точность определения координат точек, формирующих рабочий трек и точность параллельного вождения на рядках +30см Дифференциальный способ наблюдений - DGPS (Differential GPS). Измерения выполняются двумя приемниками: один устанавливается в определяемой точке, а другой - в точке с известными координатами - базовой (контрольной) станции. На контрольной станции формируется поправка, которая передаётся на наш приёмник.

Европейская DGPS система EGNOS включает 3 геостационарных спутника, принадлежащих двум компаниям Artemis и Inmarsat, каждая из которых имеет свою независимую сеть наземных станций. Ближайшая наземная станция – под Варшавой. Все спутники EGNOS хорошо «видны» в Беларуси и Западной части России.

СППР должна содержать следующие геоданные: - максимально точные, насколько это возможно, карты землепользования (география); - карты по видам почв и их физико-гранулометрической структуре; - карты урожайности полей по годам; - \*карты отбора проб почвы для обследования - карты pH; P2O5 ; K2O и микроэлементов по результатам последнего обследования; - \*карты операций по обработке почв (текущее состояние); - \*карты операций по внесению органических удобрений; - \*карты операций по внесению минеральных удобрений; - \*карты операций по посеву основных культур; - карты состояния посевов; - \*карты подсева трав; - \*карты применения пестицидов (отдельно по каждому виду). \*- каждая из карт операций состоит из двух частей: карты-задания на выполнение операции и карты-отчёта в виде зон покрытия.

**Вопрос 2.** 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 реализации 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. Они являются элементами технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Управление посевами – это комплекс мероприятий, основанных на знании и опыте хозяйствования в определенных природных условиях. Для более полного прогнозирования будущего урожая в настоящее время разработана система дифференцированного контроля за основными сельскохозяйственными процессами в технологии возделывания какой-либо сельскохозяйственной культуры. Эту систему входит дифференцированная обработка почвы, дифференцированное по площади внесение основного удобрения, дифференцированный по площади посев, дифференцированное внесение гербицидов и фунгицидов, дифференцированное

внесение регуляторов роста и дифференцированное определение качества убираемого урожая. Цель дифференцированной обработки почвы в пределах одного поля заключается в том, чтобы за счет более эффективного расхода горючего и минимальных затрат времени сократить издержки производства в растениеводстве, избегая разрушения структуры почвы и возникновения почвенных эрозий. Дифференцированная обработка почвы стала возможна только в двухэтапном технологическом варианте с использованием данных цифровых почвенных карт. Эта информация необходима для подготовки технологических электронных карт. При этом исходят из необходимости в более глубоком рыхлении почвы тех участков поля, где складываются неблагоприятные условия для роста корней растений, а именно: – на песчаных почвах, склонных к переуплотнению; – на почвах с неоднородной структурой; – на сильно гидроморфных почвах; – на бедных гумусом почвах. В то же время хорошо аэрируемые почвы с высоким содержанием илистых частиц и гумуса можно обрабатывать менее глубоко. При этом глубина обработки не является постоянной, а определяется с учетом принятой глубины пахотного слоя данной почвы. Значимую долю в повышении урожайности играет дифференцированное по площади внесение основного удобрения. Определение оптимального содержания питательных элементов в почве является основным мероприятием в управлении посевами. Обеспеченность ими почв подвергается значительным колебаниям. В зависимости от содержания питательных веществ с помощью компьютерных программ рассчитывают нормы внесения основных удобрений. При этом удобрения вносят только для компенсации выноса элементов с урожаем. При более низкой обеспеченности дозы удобрений увеличиваются, при более высокой – снижаются. Результаты почвенных анализов показывают значительные отличия в распределении отдельных питательных веществ по площадям. Поэтому различными получаются и карты удобрений. Для обеспечения оптимальных результатов требуется не только равномерное внесение питательных веществ с однокомпонентным удобрением, но и его дифференцированное внесение с учетом мелкомасштабной неоднородности в пределах поля. В системе традиционного земледелия дифференцированный по площади посев зависит от нормы высева и густоты стояния обусловлены почвенно-климатическими и погодными условиями, а также предшественником, сроком посева, сортовыми свойствами и качеством посевного материала. Однако при этом не учитываются неоднородность полей по плодородию, существенное различие почвенных показателей и рельефа. Для более эффективного использования производственных факторов в рамках управления посевами следует учитывать неоднородность по вышеназванным показателям и адаптировать в соответствии с этим норму высева и густоту стояния. При планировании посева максимально используют всю информацию, необходимую для характеристики незначительных различий в урожайности и качестве урожая на данном поле и представленную в виде почвенных карт. Общими ориентирующими факторами для проведения дифференцированного посева зерновых могут служить следующие: – между отдельными частями поля наблюдаются различия в урожайности; – установленное дифференцирование нормы высева составляет минимум

30-50 всхожих зерен на 1 м<sup>2</sup>. Разработка карт-заданий для дифференцированного посева требует специального программного обеспечения. Основополагающей при составлении таких карт является информация: – о площадях, отличающихся урожайностью и уровнем целевой урожайности, обычно составленных в форме карт. Она является исходной для вычисления нормы высева; – об урожайности отдельных колосьев и индексе колошения; – о полевой всхожести и, следовательно, потребности в посевном материале. Полевая всхожесть, кроме как от качества посевного материала, зависит прежде всего от почвенных условий до и после посева, в том числе температуры почвы. Для объективной оценки этого показателя требуются опыт хозяйствования в условиях данной местности и учет особенностей данного поля: – потерь растений за период от первых всходов до начала вегетации весной; – параметров качества посевного материала, например, всхожести и др. Эти данные представлены в виде специальных карт посева. Основное требование комплексной защиты растений при дифференцированном внесении гербицидов и фунгицидов, заключается в том, что для снижения экотоксической нагрузки на внешнюю среду необходимо уменьшать расход средств, предназначенных для защиты растений, до необходимого минимума. За основу целенаправленного применения средств защиты растений принято понятие «экономический порог вредоносности», под которым понимают количество или плотность популяции вредного организма или засорения, и превышение этих показателей имеет отрицательные экономические последствия. Применение дифференцированного внесения регуляторов роста – составная часть агротехнологических приемов возделывания многих сортов зерновых культур. Благодаря внесению регуляторов роста получают более короткие стебли зерновых, и таким образом этим снижается опасность полегания растений. Стабилизация роста стеблей в свою очередь свидетельствует об эффективности внесения азотных удобрений и в итоге – о повышении урожайности культуры. 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. Пока не создана общая модель для упрощения принятия решений о проведении отдельных мероприятий, которая связывала бы воедино отдельные модули, описывала бы их взаимосвязи 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 и оперативное управление посевами на основе текущей информации.