

А. В. Ващула¹, С. А. Антошук²

¹ГУ «Белорусская МИС»
п. Привольный, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь
belmis@mail.belpak.by
²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: santoshuk@rambler.ru

ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В статье приводятся анализ существующего состояния технологии точного земледелия в Республике Беларусь, технических средств для ее реализации и отдельные результаты проведенных ГУ «Белорусская МИС» опытов по апробации элементов технологии в условиях хозяйств.

Ключевые слова: технология точного земледелия, технические средства для реализации технологии точного земледелия, дифференцированное внесение удобрений, дифференцированный высев семян, картирование урожайности.

A. V. Vashchula¹, S. A. Antoshuk²

¹SI «Belarussian MTS»
Privolny, Minsk district, Minsk region, Republic of Belarus
belmis@mail.belpak.by
²The State Scientific Institution «The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: santoshuk@rambler.ru

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF PRECISION AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

An analysis of the current state of the Precision agriculture in the Republic of Belarus are providing in the article.

Keywords: technology of exact agriculture, technical means for realizing the technology of precision farming, differentiated application of fertilizers, differentiated sowing of seeds, mapping of yields.

Введение

Точное земледелие – это комплексная высокотехнологичная система сельскохозяйственного менеджмента, основанная на технологиях глобального позиционирования. Суть точного земледелия заключается в том, что обработка полей производится в зависимости от реальных потребностей выращиваемых в данном месте культур. Накопление статистики обработки (куда и сколько внесли каждого вещества) и получаемых результатов (урожайность) позволяет применять различные виды анализа, с тем чтобы в дальнейшем корректировать применяемые дозы для получения максимума отдачи на каждый вкладываемый в обработку рубль.

Точное земледелие в первую очередь строится на анализе данных, получаемых из различных источников, основные из которых: химический анализ почвы, составление карт урожайности культур, аэрофотосъемка, спутниковая съемка, дистанционный мониторинг почвы и растений при помощи оборудования на сельскохозяйственных машинах, данные об урожайности за предыдущие годы (не менее 5 лет).

Основные этапы развития точного земледелия

Современная концепция точного земледелия является в некотором смысле развитием идей программирования урожайности, которые обрели определенную популярность в 70-80-х годах XX века. Однако, в отличие от последних, базировавшихся на теоретических предпосылках, точное земледелие должно основываться на реальных данных, которые получают при помощи различных методов зондирования и затем обрабатывают специальными программами, позволяющими на основе полученных данных планировать работы, рассчитывать затраты, прогнозировать урожай.

Основной предпосылкой к быстрому развитию в последние годы точного земледелия явилось разрешение использования глобальных систем позиционирования в гражданских целях.

Первыми весомых результатов в использовании электронных устройств на сельскохозяйственной технике добились разработчики машин для защиты растений. Например, опрыскиватель Hydroelectron фирмы Тескома, получивший золотую медаль на международной выставке SIMA-1976 в Париже, был оборудован электронным регулятором подачи раствора пропорционально скорости движения агрегата.

Сложнее решались вопросы точного высева семян зерновых колосовых культур. Экспериментальные образцы таких сеялок были показаны на международной выставке в Мюнхене в 1982 г., а серийная машина с электронным регулятором высева фирмы Blanchot появилась лишь через три года и была отмечена на парижской выставке SIMA-1985.

В 1986 г. в результате тесного сотрудничества фирм-производителей тракторов и сельхозмашин было признано рациональным многоканальный микропроцессор устанавливать на тракторе, а на машинах использовать лишь унифицированные датчики.

В разных странах начали разрабатывать способы и средства для упрощения и снижения стоимости агрохимического анализа почвы, в том числе через урожайность выращенной культуры на отдельных участках поля. Были разработаны как косвенные (картирование урожайности), так и прямые методы (оценка содержания азота) определения потенциальной урожайности почв.

Основные принципы и технологические элементы точного земледелия

Технологии картирования полей: анализ почв, мониторинг урожайности

1. Химический анализ почвы, отбор образцов по сетке.

При использовании этого метода поле делится на клетки, в каждой из которых берутся почвенные образцы. Каждый образец анализируется отдельно на содержание гумуса, основных питательных элементов, кислотность, после чего создаются карты свойств почвы.

Главные недостатки данного метода – он является самым дорогостоящим, самым трудоемким, самым неточным и самым архаичным. Для получения реальной картины пестроты почвенного плодородия необходимо брать тысячи и десятки тысяч образцов. Но чтобы сделать этот метод рентабельным, приходится значительно уменьшать количество, увеличивая площадь участка до 5–20 га. Земледелие в таких случаях перестает быть точным.

2. Составление карт урожайности культур

Появление оборудования для мониторинга урожайности дало резкий стимул развитию технологий точного земледелия за счет значительного увеличения скорости сбора информации и точности анализа.

Картирование урожайности имеет следующие преимущества: возможность точного определения пестроты плодородия в пределах поля при значительном уменьшении затрат на анализ неоднородности полей по сравнению с отбором почвенных образцов по сетке; при правильной калибровке монитор урожайности сразу дает абсолютные данные по урожайности ($m/га$); высокую детализацию картирования; возможность создания точных границ полей.

К недостаткам метода необходимо отнести следующие: он не учитывает почвенные условия; необходимы дополнительные капиталовложения (более высокая цена уборочного оборудования); требуется регулярная калибровка каждого прибора (до нескольких раз в смену).

3. Аэрофотосъемка, спутниковая съемка

Миниатюризация летательных аппаратов, проникновение частного бизнеса в космос и другие факторы позволили существенно упростить доступ гражданских структур к ресурсам, которые раньше были доступны только военным. Дистанционное зондирование осуществляется путем анализа спектра, отраженного от земной поверхности или от поверхности растительности.

В настоящее время ни один из существующих в точном земледелии методов не может сравниться по производительности со спутниковой съемкой. Главный недостаток – цена.

При аэрофотосъемке основным препятствием служит отсутствие законодательной базы о применении беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

4. Анализ электропроводности почвы

Метод основан на различной способности почвы проводить электрический ток в зависимости от концентрации в ней анионов и катионов, а также от ее влажности. Он популярен в регионах, где засоленность или кислотность почв являются основными факторами, ограничивающими урожайность.

Данный метод не всегда коррелирует с концентрацией элементов питания растений в почве и должен применяться с осторожностью.

5. Дистанционный мониторинг почвы и растений при помощи оборудования на сельскохозяйственных машинах

Дистанционный мониторинг используется, как правило, для азотной подкормки, точечного применения гербицидов при отсутствии основной культуры и т. д.

Преимуществами оптических датчиков являются гибкость в использовании и отсутствие зависимости от облачности. В числе недостатков следует назвать высокую стоимость.

Техническое оснащение при использовании технологии точного земледелия

На современном этапе развития технологий в системе точного земледелия используются: мобильное оборудование для отбора проб почв, оборудование для дистанционного зондирования полей (БЛА) с установленным на нем оборудованием для фотосъемки, разбрасыватели минеральных удобрений, сеялки и посевные агрегаты с автоматизированным приводом регулирующих механизмов, опрыскиватели, уборочная техника (в первую очередь – зерноуборочные комбайны), а также различное вспомогательное оборудование, предназначенное для измерения площадей, картирования полей, управления агрегатами и других операций, для осуществления которых используются сигналы спутниковых навигационных систем, в первую очередь – GPS.

Мобильный агрегат для отбора почвенных проб представляет собой транспортное средство высокой проходимости (трактор, внедорожный автомобиль) с установленным на нем автоматическим пробоотборником, способным отбирать образцы на глубине до 30 см (некоторые модели – до 60 см). Необходимым компонентом агрегата является бортовой компьютер с системой спутниковой навигации и специальным программным оборудованием, способным обрабатывать карту заданного поля, на которой предварительно отмечены точки отбора проб.

Значительное удешевление систем управления и электронных компонентов привело к широкому внедрению систем воздушного картографирования и дистанционного зондирования полей с использованием автоматической беспилотной авиации.

Съемка сельскохозяйственных угодий осуществляется в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне с целью получения визуальной информации (фотоснимков) об используемых полях и о выращиваемой на них растительной продукции. Получаемые фотографии после обработки специализированным программным обеспечением используют для принятия управленческих решений в рамках отдельных служб и в масштабах всего хозяйства.

Для работы в системе точного земледелия фирмами-производителями предлагается ряд решений. В первую очередь – совместимость со стандартом ISOBUS с целью подключения к терминалу трактора. Управление дозой внесения, открытие и закрытие заслонок, включение устройств для обработки поворотных полос осуществляются автоматически, в зависимости от типа удобрений, дозы и других параметров. Например, фирма Kverneland предлагает серию разбрасывателей Exakta TL, оснащенных компьютерами. Кроме вышеперечисленных функций, машина имеет 4 весовых тензодатчика плюс еще один корректирующий, который помогает устранять колебания системы, учитывает уклоны местности.

Разбрасыватели удобрений, адаптированные для использования в системе точного земледелия, выпускают почти все ведущие производители.

Практически все посевные агрегаты и сеялки ведущих производителей подготовлены для работы в системе точного земледелия и позволяют осуществлять дистанционное автоматическое изменение дозы внесения удобрений и нормы высева семян в зависимости от информации, передаваемой бортовым компьютером.

Для картирования урожайности применяют специальное оборудование, смонтированное на комбайне, представляющее собой компьютер, датчики объема и датчики влажности, с помощью которых фиксируются объем и влажность поступающей зеленой (зерновой и т. д.) массы, полученные значения пересчитываются на сухую массу и сохраняются в компьютере. После окончания рабочего дня или смены данные при помощи карты памяти передаются на ПК для дальнейшей обработки.

Так, компанией Claas для работы в системе точного земледелия создана система CEBIS. При картировании урожайности она дополняет полученные данные о количестве убранной культуры географическими координатами, используя при этом данные GPS. Все измеренные значения сохраняются на мобильной чип-карте. Входящее в комплект поставки программное обеспечение AGROCOM MAP START позволяет также создавать карты урожайности, на основании которых можно разрабатывать будущую производственную стратегию. Картирование урожайности может осуществляться при уборке зерновых культур комбайнами Lexion и при уборке зеленой массы комбайнами Jaguar.

В 2015 году компания Kverneland разработала плуг, имеющий технические элементы точного земледелия. Навесной оборотный плуг Kverneland 2500 i-Plough имеет интерфейс ISOBUS, позволяющий автоматически регулировать значительное количество параметров при помощи бортового компьютера трактора.

Системы параллельного вождения

В республике основной парк машин для внесения твердых минеральных удобрений (более 90 %) составляют центробежные дисковые разбрасыватели. Их широкое распространение обусловлено такими достоинствами, как возможность внесения различных видов удобрений, невысокая стоимость, высокая производительность, возможность обеспечения широкого диапазона доз внесения, простота конструкции, низкие затраты на техническое обслуживание. Вместе с тем одной из важнейших особенностей центробежных дисковых разбрасывателей является необходимость перекрытия смежных проходов на определенную величину, отклонение от которой увеличивает неравномерность внесения удобрений по полю. При этом наиболее сложной в плане соблюдения необходимых перекрытий является работа без технологической колеи.

Даже опытный и добросовестный механизатор из-за отсутствия точного ориентира при работе с широкозахватными машинами не выдерживает стыковых проходов, совершая двойную обработку площади или оставляя огрехи шириной 2–8 метров.

Таким образом, при работе без технологической колеи отсутствие устройств точного вождения ведет к нарушению оптимального перекрытия смежных проходов и к огрехам, что существенно повышает неравномерность распределения удобрений и пестицидов по полю. Это приводит к отклонению фактически вносимых доз от заданных на участках с двойной обработкой и огрехам, потерям удобрений и пестицидов при их внесении и семян при посеве, перерасходу топлива на всех видах работ, снижению эффективности применения удобрений, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Обработка данных и системы принятия решений

Учитывая исключительную важность сельского хозяйства в контексте экологической безопасности и обеспечения населения продуктами питания, актуальным является обеспечение эффективного управления растениеводческими предприятиями, с тем чтобы, с одной стороны, максимально повысить урожайность, а с другой – свести к минимуму антропогенную нагрузку на биосферу. Для достижения этих целей производители в различной степени используют разработки ученых, машиностроителей, экономистов и других специалистов, обслуживающих

АПК. На настоящем этапе данные наработки находят применение в программных продуктах, которые должны обеспечить поддержку и принятие управленческих решений в отрасли АПК.

Результаты исследований

Для оценки эффективности работы оборудования, предназначенного для технологии точного земледелия, были проведены исследования на базе ГУ «Белорусская МИС».

Для проведения исследований определены контрольные поля, на которых возделывали следующие культуры:

- поле № 1 – озимая тритикале;
- поле № 2 – яровой ячмень;
- поле № 3 – кукуруза на зерно и зеленую массу.

В ходе работы выполнены следующие этапы:

- проведен отбор проб почвы на контрольных полях;
- произведен анализ состояния почвы;
- составлены картограммы содержания подвижных форм фосфора и калия, а также картограммы кислотности и известкования почвы;
- определены участки для традиционного и дифференцированного внесения минеральных удобрений и дозы внесения минеральных удобрений;
- на контрольных участках внесены минеральные удобрения и карбамидно-аммиачная смесь (КАС) по традиционной и дифференцированной схеме внесения;
- произведен посев зерновых и кукурузы;
- проведены работы по дистанционному зондированию посевов с помощью беспилотного летательного аппарата;
- осуществлена уборка зерновых культур (кроме кукурузы: на зерно не убиралась из-за неблагоприятных погодных условий) комбайном, оснащенным системой картирования урожайности Trimble;
- выполнена оценка возможностей создания универсального бортового компьютера на базе компьютера «Роса» производства ООО «Агромашресурс».

Результаты экономической оценки сведены в таблицу 1.

Таблица 1. – Оценка экономической эффективности

Наименование показателя	Дифференцированное внесение Amazone ZAM 3000 Ultra (калий + аммофос) и ОС «ROSA» (КАС)	Традиционное внесение Amazone ZAM 3000 Ultra (калий + аммофос) и ОС «ROSA» (КАС)
Себестоимость механизированных работ с учетом расхода удобрений, тыс. руб.	78867,930	108267,220
Затраты на почвоотбор, тыс. руб.	1900,821	–
Затраты на формирование электронных карт, тыс. руб.	1767,382	–
ИТОГО, тыс. руб.	82536,133	108267,220
Степень снижения себестоимости, %	23,8	X

Заключение

В настоящее время уровень развития технологий позволяет выпускать и эксплуатировать «умные» машины и оборудование, способные автоматически отслеживать выполнение технологического процесса. Однако наличия таких машин недостаточно для реализации идей точного земледелия. Одинаковые условия могут быть обеспечены только путем объединения их в систему машин и оборудования, работающую как единый программно-аппаратный комплекс.

В то же время даже частичное внедрение современных технологий способно дать положительный результат. Так, в ходе исследований, проводимых ГУ «Белорусская МИС», осуществлена апробация машин и оборудования для внесения удобрений, посева, дистанционного мониторинга посевов, картирования урожайности и химического анализа проб. Получены следующие результаты:

- степень снижения затрат за счет применения системы дифференцированного внесения удобрений в сочетании с системой картирования полей составляет 24 %;
- эффект за счет использования системы дифференцированного высева семян находится на уровне погрешности, что с учетом высокой стоимости оборудования делает ее использование в настоящее время нецелесообразным;
- система картирования урожайности должна быть внедрена на всех уборочных машинах хозяйства, в противном случае часть полей не будет учтена;
- система картирования урожайности должна совершенствоваться: относительные отклонения в опытах достигают 12–28 %, что неприемлемо.

Таким образом, на настоящем этапе развития технологий является актуальным прогнозирование плодородия почв по участкам, применение дифференцированного внесения удобрений, использование систем картирования урожайности (с учетом выявленных недостатков). Использование сеялок и посевных агрегатов, оснащенных системой дифференцированного высева семян, в настоящее время нецелесообразно.

Особое внимание должно быть обращено на системы дистанционного мониторинга сельскохозяйственных культур и полей. В настоящее время технологии использования космической и авиасъемки имеют достаточно высокую точность и доступны по цене, но при этом отсутствует эффективное программное обеспечение для адекватной интерпретации полученных фотографий.

Литература

1. Полуэктов, Р. А. Имитационный метод программирования урожаев / Р. А. Полуэктов, Б. Г. Заславский, Т. А. Неусыпина // Доклады ВАСХНИЛ. – 1978. – № 7. – С. 118–121.
2. Мельничук, А. Не бойтесь зоны, бойтесь клетки! / А. Мельничук, А. Сорокин // Новое сельское хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 90–96.
3. Koch, B. The role of precision agriculture in cropping systems / B. Koch, R. Khosla // Cropping Systems: Trends and advances. Food products press. – 2003. – P. 361–382.
4. Зомолайный, А. Датчик азота и глобальная система позиционирования: новая техника на службе нового сельского хозяйства / А. Зомолайный, В. Тараба // Экология и сельскохозяйственная техника. – СПб. – 2005. – С. 276–280.
5. Лях, С. И. О точном вождении агрегатов при внесении удобрений и пестицидов / С. И. Лях, С. А. Антошук // Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства [Электронный ресурс]. – Минск, 2010–2018. – Режим доступа: <http://legacy.belagromech.by/press/a5a9ece038932a8e.html>. – Дата доступа: 20.07.2018.
6. Woollenhaupt, N. C. Grid Soil Sampling / N. C. Woollenhaupt, R. P. Wolkowski // Better Crops with Plant Food. – Vol. LXXVIII#4. – Fall 1994.
7. Шафран, С. А. Оценка внутрипольной неравномерности содержания питательных веществ в почвах НРНЗ / С. А. Шафран, В. Д. Черевинков, Е. В. Леонова // Плодородие. – 2008. – № 1. – С. 33–34.
8. Якушев, В. П. Информационное обеспечение точного земледелия / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. – 384 с.