

А. В. Ващула¹, В. А. Генин¹, М. В. Базулька², А. В. Захаров³, И. О. Захарова³

¹ГУ «Белорусская МИС»
г. Минск, Республика Беларусь

²ООО «Технологии земледелия»
г. Минск, Республика Беларусь

³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: zaharov_av7@tut.by

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В статье рассмотрены некоторые аспекты точного земледелия. Показано, что, применяя вегетационный индекс и различные дозы внесения азотных удобрений, можно регулировать рост растений и затем с использованием космического изображения контролировать изменения.

Ключевые слова: точное земледелие, урожайность, вегетационный индекс, базы данных, норма внесения удобрений.

A. V. Vashchula¹, V. A. Genin¹, M. V. Bazulka², A. V. Zakharov³, I. O. Zakharova³

¹State Institution «Belarusian machine-testing station»
Minsk, Republic of Belarus

²Technology of agriculture LLC
Minsk, Republic of Belarus

³Educational establishment «Belarusian state agrarian technical university»
Minsk, Republic of Belarus
e-mail: zaharov_av7@tut.by

EXPERIENCE OF USE OF TECHNOLOGIES OF EXACT AGRICULTURE IN REPUBLIC OF BELARUS

In article some aspects of exact agriculture are considered. It is shown that with use of a vegetative index and various dose of introduction of nitrogen fertilizers it is possible to regulate growth of plants and to trap a difference with use of the space image.

Keywords: exact agriculture, productivity, vegetative index, databases, norm of application of fertilizers.

Введение

В современном мире технологии ведения сельского хозяйства развиваются стремительными темпами. Подорожание удобрений, горюче-смазочных материалов, средств химической защиты растений сказывается на итоговой стоимости произведенной продукции. Технологии точного земледелия позволяют без потери урожайности экономить до 20 процентов материалов.

Точное земледелие – это управление продуктивностью посевов с учетом внутривидовой вариативности среды обитания растений. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды.

Для использования систем точного земледелия необходима детальная информация о состоянии почвы и растений. Эта информация может быть получена с использованием данных дистанционного зондирования Земли, почвенных сенсоров, датчиков массы и влажности зерна, агрохимического анализа почвы.

В настоящее время ресурсные спутники позволяют получать информацию о поверхности Земли в различных диапазонах длин волн с различным пространственным разрешением. Более

того, программы мониторинга сельского хозяйства активно развиваются. Ярким примером может служить то, что к концу 2017 года компания Planet labs запустит на орбиту 150 ресурсных спутников, которые могут быть использованы для различных сельскохозяйственных задач. Европейское космическое агентство и национальная геологическая служба США предоставляют открытый доступ к данным дистанционного зондирования Земли со спутников Sentinel и Landsat соответственно [1].

Почвенные сенсоры развиваются вслед за системами точного земледелия. В настоящее время почвенные сенсоры позволяют собирать информацию об электропроводности почвы, значениях pH, влажности почвы. Данные об урожайности сельскохозяйственных культур, наряду с информацией, полученной с почвенных сенсоров, являются неотъемлемыми при внедрении технологий точного земледелия. Комплексное использование этой информации может быть применено при построении сети элементарных участков [2].

Несмотря на значительное развитие технологий ведения сельского хозяйства, важнейшим этапом внедрения технологий точного земледелия является агрохимическое обследование почвы. Важно понимать, что информация, собранная с сенсоров и датчиков, только оптимизирует этот процесс, но ни в коем случае не заменяет его.

В данной статье мы постараемся поделиться опытом внедрения технологий точного земледелия в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь. Здесь следует отметить, что в ходе работ нами преимущественно было использовано оборудование Trimble, включая бортовые компьютеры, навигационное оборудование, датчики мониторинга урожайности, датчики вегетационной массы растительности и др. [3].

Основная часть

Первым этапом при внедрении точного земледелия в отдельно взятой сельскохозяйственной организации является создание реляционной базы данных, которая содержит информацию о границах рабочих и элементарных участков, данные агрохимического обследования почвы, информацию о севооборотах, дате сева и другую необходимую информацию, привязанную к конкретному рабочему или элементарному участку. Каждый векторный элемент базы данных (рабочий или элементарный участок) полностью автономен и может быть отредактирован.

В целом вид базы данных – это электронная книга истории полей, совмещенная с паспортом агрохимического обследования почвы и векторными границами участков.

Создание векторного слоя возможно двумя путями, первый из которых – это объезд поля с использованием GNSS-приемников в режиме RTK. Данная технология позволяет создавать границы полей с точностью 2 сантиметра, но у нее есть свои недостатки. Первый и наиболее значимый – GNSS-приемники с указанной точностью работают только на открытых пространствах: на границе поле/лес их точность значительно снижается, вплоть до полной потери сигнала спутника. Вторым недостатком является то, что данная технология достаточно дорога.

Другим вариантом получения информации о границах полей является оцифровка данных дистанционного зондирования Земли. В условиях Беларуси удобно использовать информацию, которую получает РСХАУП «БелПСХАГИ» путем аэрофотосъемки камерой Leica ADS 100. Данная камера позволяет получать 16-битные изображения в 4 спектральных каналах с разрешением до 5 сантиметров [4].

На большей части территории Республики Беларусь съемка производится с разрешением 30 сантиметров. В ходе обработки данных создаются векторные границы рабочих участков, которые в дальнейшем делятся на элементарные участки. Использование этого метода при создании электронной карты полей экономичнее предыдущего.

Преимуществами этого метода являются сопутствующая информация, такая, как цифровая модель местности, получаемая по результатам обработки стереопары, рассчитанные значения вегетационного индекса с использованием красного и ближнего инфракрасного спектрального канала.

Для Беларуси также актуален вопрос выявления технологических нарушений при ведении сельского хозяйства. Аэрофотоизображение с разрешением 30 сантиметров позволяют выявлять

проезды, совершенные не по технологическим полосам, перекрытия при внесении азотных удобрений, участки незаконно используемых либо неиспользуемых земель.

После создания базы данных сельскохозяйственной организации в ней собирается вся информация, необходимая при принятии производственных решений. Далее она загружается в геоинформационную программу, которая позволяет визуализировать всю пространственную информацию, а также получать из базы все необходимые данные о каждом поле.

Помимо этого, использование геоинформационной системы позволяет решать такие сопутствующие задачи, как расчет площади какой-либо части участка во время полевых работ, измерение расстояний переездов и разворотов техники. К компьютеру с установленной программой возможно подключить GNSS-антенну, которая позволяет визуализировать местоположение агронома на карте.

Все эти функции в значительной степени упрощают работу агронома. У нас накоплен значительный опыт внедрения геоинформационных систем в деятельность сельскохозяйственных организаций на общей площади свыше 35 тысяч гектаров.

Результаты исследований

Данное управление продуктивностью посевов достигается за счет дифференцированного внесения удобрений (далее – ДВУ) [5].

Эта методология позволяет пойти двумя различными путями, первый из которых – выравнивание плодородия рабочего участка путем внесения повышенной нормы удобрений на низкопродуктивных участках поля и снижения нормы внесения на высокопродуктивных участках. Другим направлением ДВУ является снижение нормы внесения на участках с низким потенциальным плодородием и увеличение дозы удобрений на высокопродуктивных участках. В первом случае мы выравниваем плодородие почвы и достигаем равномерного урожая в границах всего поля, а в другом – получаем максимальную прибыль при минимальных затратах.

Следует понимать, что с использованием методов точного земледелия мы не можем регулировать все факторы, которые оказывают влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. К ним можно отнести влажность почвы, значение солнечной инсоляции, уклон склона и другие. В основном все эти факторы находятся в тесной зависимости от рельефа. Это значит, что с использованием рельефа земной поверхности мы можем лимитировать норму внесения удобрений.

В 2015 году с использованием системы Trimble Harvest нами были собраны данные об урожайности на рабочем участке площадью 90 га (рисунок 1). На поле прослеживается значительная неоднородность, а значения урожайности различаются более чем в 3 раза.

У нас имелась цифровая модель рельефа этого участка с пространственным разрешением 30 сантиметров и с точностью по вертикали менее 30 сантиметров. С ее помощью нами были рассчитаны 18 морфометрических параметров, среди которых: индекс влажности, топографический индекс позиции и другие. В результате обработки данных и построения модели множественной регрессии нами за счет морфометрических параметров рельефа было объяснено 73 % вариации урожайных данных.

Также следует отметить, что в ходе обследования поля нами было отобрано более 130 образцов на участках с различной урожайностью. После этого в лаборатории был проведен анализ на содержание фосфора, калия, гумуса и величину почвенной кислотности.

Значения содержания гумуса колебались в широком диапазоне – от 1,03 до 3,97 процентов, среднее значение – 2,14, стандартное отклонение – 0,51.

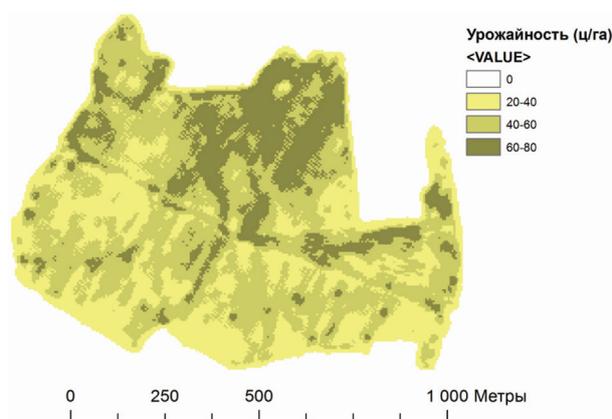


Рисунок 1. – Картограмма урожайности зерна озимой тритикале

Содержание фосфора находилось в диапазоне от 41 до 400 при среднем значении 134 мг/кг, стандартное отклонение – 61 мг/кг.

Содержание калия находилось в диапазоне от 140 до 500 мг/кг при его среднем содержании 370 мг/кг. Стандартное отклонение – 81 мг/кг.

Кислотность по полю варьируется в пределах от 4,95 до 7,15 единиц рН, среднее значение – 6, стандартное отклонение – 0,46.

Включение показателей агрохимического обследования в модель множественной регрессии не увеличило значения результирующего коэффициента детерминации. Другими словами, на исследуемом рабочем участке рельеф поля оказывает первостепенное влияние на урожайность.

Также следует отметить важность ретроспективного анализа полей. Для его осуществления нами были собраны данные дистанционного зондирования за 2002, 2005, 2010 и 2014 годы. Ниже на изображении (рисунок 2) представлено рассчитанное значение вегетационного индекса за 2014 год и урожайность зерна за 2015 год. В 2014 году на данном поле произрастал ячмень, а в 2015 году – озимая тритикале.

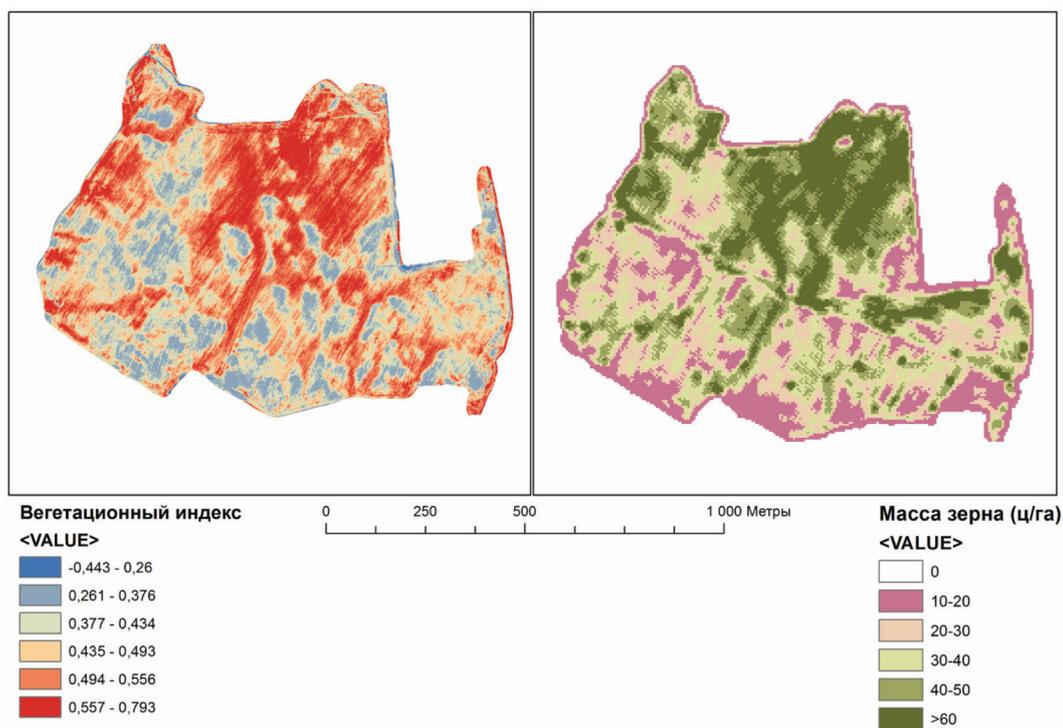


Рисунок 2. – Сравнение значений вегетационного индекса за 2014 год и значений урожайности за 2015 год

Большое сходство характера изображений на обоих рисунках очевидно, схожая картина наблюдается и за предыдущие годы, на основании чего можно заключить следующее: зоны с высокой и низкой урожайностью статичны и связаны с различиями в рельефе. Поэтому мы считаем, что выравнивание плодородия почвы на этом рабочем участке невозможно. В 2016 году норма внесения удобрений на данном поле будет снижена на участках с низкой урожайностью и повышена на участках с высокой урожайностью, что позволит сэкономить примерно 15 процентов минеральных удобрений и, предположительно, повысить урожайность возделываемой культуры.

В 2015 году нами также был произведен эксперимент по выравниванию плодородия на отдельно взятом рабочем участке. Для этого был использован вегетационный индекс, рассчитанный на основании космического изображения за 11 апреля 2015 года. Подкормка производилась 18 апреля; затем результат действия азотных удобрений был оценен с использованием вегетационного индекса за 4 мая 2015 года. Норма азота находилась в диапазоне от 180 до 250 килограммов карбамида на гектар. На участках с низкой вегетацией норма азотных удобрений была увеличена, а на участках с высокой вегетацией норма азотных удобрений была уменьшена.

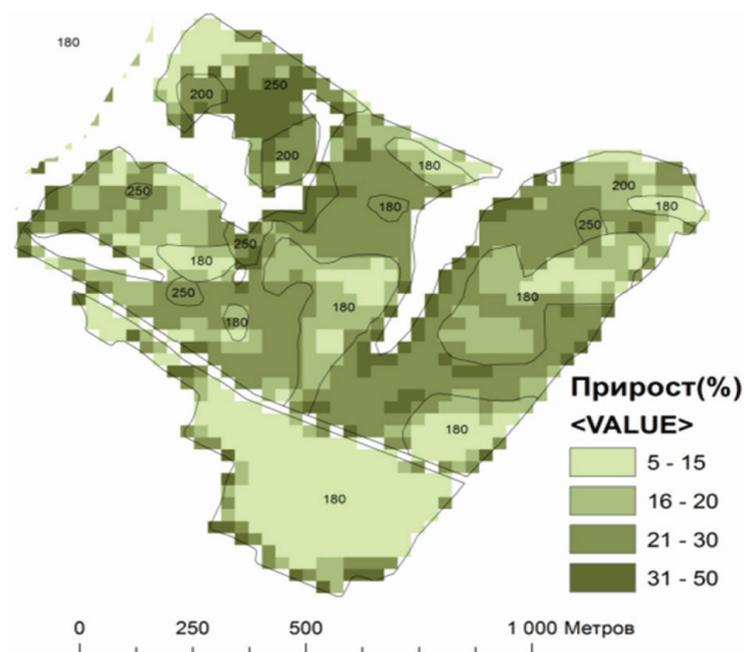


Рисунок 3. – Результат эксперимента по выравниванию плодородия на отдельно взятом рабочем участке

Результат представлен на рисунке 3, где прирост значения вегетационного индекса указан в процентах (разница вегетационных индексов за 11 апреля и 4 мая, деленная на среднее значение).

На рисунке 3 заметно, что максимальный прирост вегетационного индекса сосредоточен в зонах внесения 250 килограммов карбамида на гектар. Минимальный прирост наблюдается в зонах внесения 180 килограммов карбамида. Эксперимент был проведен с целью доказать, что с использованием вегетационного индекса и различной дозы внесения азотных удобрений мы можем регулировать рост растений и контролировать разницу с использованием космического изображения.

Заключение

Наши данные свидетельствуют о том, что с использованием космических снимков и оборудования Trimble мы можем управлять развитием растений и обеспечивать максимальную прибыль для сельскохозяйственных производителей. В статье рассмотрены только некоторые аспекты точного земледелия. Помимо них современные технологии позволяют картировать содержание гумуса в почве на основании данных дистанционного зондирования Земли и, основываясь на высокодетальных картах, дифференцировать норму внесения органических удобрений. Также при наличии актуальных данных агрохимического обследования можно дифференцировать внесение калийных и фосфорных удобрений в зависимости от их содержания по элементарным участкам.

Сельское хозяйство как никакая другая отрасль производства нуждается в высокодетальных данных. В статье было показано, что чем большим объемом информации располагают хозяйства о своих полях, тем эффективнее внедрение современных технологий. Важно то, что 80 процентов информации в сельском хозяйстве является пространственной, то есть она имеет координаты (данные об урожайности, влажность почв, содержание химических элементов). Геоинформационная система позволяет собирать и систематизировать все пространственные данные, а также осуществлять удобный и быстрый доступ к ним.

Литература

1. Данные Landsat 8 // EarthExplorer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthexplorer.usgs.gov>. – Дата доступа: 02.03.2015.
2. Баррет, Э. Введение в космическое землеведение / Э. Баррет, Л. Куртис. – М.: Прогресс, 1979. – 368 с.
3. Технология Trimble // Геомир. Инженерный центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geomir.ru/info136.html>. – Дата доступа: 05.03.2015.
4. Аэрофотосъемочная система Leica ADS100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/cameras-large-format/leica-ads100-airborne-digital-sensor>. – Дата доступа: 05.03.2015.
5. Кравцов, С. Л. Оценка концентрации органических веществ в почве методами дистанционного зондирования Земли / С. Л. Кравцов, Л. В. Орешкина // Информатика. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси. – 2009. – № 24 (4). – С. 124–133.
6. Данные OrbView 3 // Gis-lab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.inforqa/vi.html>. – Дата доступа: 02.03.2015.
7. Лаборатория SWFAL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soiltesting.okstate.edu>. – Дата доступа: 05.03.2015.
8. Нормы внесения азотных удобрений // Торговый дом «Агрохим» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: td-agrohim.com.ua/article/30. – Дата доступа: 05.03.2014.

УДК 631.3

Поступила в редакцию 19.09.2017

Received 19.09.2017

Б. Я. Татьянченко, М. Я. Довжик, А. Н. Калнагуз

Сумской национальной аграрный университет

г. Сумы, Украина

e-mail: fakyltet-mex@ukr.net

ПУТЕШЕСТВИЕ БРАХИСТОХРОНЫ

С помощью вариационного метода на основе уравнения Эйлера-Лагранжа определена форма направляющей лопасти центробежного разгонного устройства, при которой твердая частица перемещается между двумя заданными точками центробежного поля минимальное время.

Ключевые слова: центробежное поле, брахистохрона, дифференциальное уравнение, уравнение Эйлера-Лагранжа, условие Лежандра.

B. Ya. Tat'yanchenko, M. Ya. Dovzhik, A. N. Kalnaguz

Sumy National Agrarian University

Sumy, Ukraine

e-mail: fakyltet-mex@ukr.net

THE TRAVEL OF THE BRAHISTROCHRONE

Using the variational method on the basis of the Euler-Lagrange equation, the shape of the guiding blade of a centrifugal accelerating device is determined, at which the solid particle moves for a minimum time between two given points of the centrifugal field.

Keywords: centrifugal field, the brachistochrone, differential equation, Euler-Lagrange equation, Legendre condition.

Введение

Поиском экстремумов функционалов ученые занимаются со времени появления дифференциального и интегрального исчисления. В истории науки видны следы этих поисков при решении самых разных задач. Одной из таких является задача об отыскании формы кривой скорейшего спуска в поле сил тяжести, которую пытался решить Галилей еще в 16 веке. Среди множества плоских кривых, соединяющих две точки, лежащие в одной вертикальной плоскости, следовало найти ту, двигаясь по которой под действием только сил тяжести, материальное тело из верхней точки достигает нижней точки за кратчайшее время. Такая линия называется брахистохроной (от греческого слова, которое в переводе означает «кратчайший»). Галилей ошибался,