

УДК 332

Баич Д.¹

Гнято Р.²

Трбич Г.³

Аджич Д.⁴

Гнято С.⁵

Тодорович С.⁶

Лукич Н.⁷

Геоинформационные системы и точное земледелие: концепция, теория и практика

¹ Баня-Лукский университет, Республика Сербская,
г.Баня-Лука

e-mail: davorin.bajic@pmf.unibl.org

² Баня-Лукский университет, Республика Сербская,
г.Баня-Лука

e-mail: gnjator@pmfbl.org

³ Баня-Лукский университет, Республика Сербская,
г.Баня-Лука

e-mail: goran.trbic@pmf.unibl.org

⁴ Баня-Лукский университет, Республика Сербская,
г.Баня-Лука

e-mail: draadzic@gmail.com

⁵ Баня-Лукский университет, Республика Сербская,
г.Баня-Лука

e-mail: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org

⁶ Фонд защиты окружающей среды и энергетической
эффективности Республики Сербской, Республика Сербская,
г. Баня-Лука

e-mail: srdjan.todorovic@ekofondrs.org

⁷ Фонд защиты окружающей среды и энергетической
эффективности Республики Сербской, Республика Сербская,
г. Баня-Лука

e-mail: nebojsa.lukic@ekofondrs.org

Аннотация. В статье представлена концепция точного земледелия, основанная на геоинформационных системах (ГИС). В первой части работы рассматривается теоретическая концепция точного земледелия и значение ГИС в его развитии и внедрении. Во второй части работы описывается практическое внедрение системы автоматизированного управления и точного земледелия (Этфарм). Кроме теоретических и практических разработок, в статье представлены преимущества использования концепции точного земледелия на практике, которые отражаются в производственном, экономическом и экологическом аспектах.

Ключевые слова: точное земледелие, ГИС, дистанционное обнаружение.

Введение

Постоянный рост населения, суровые условия рыночного сельскохозяйственного производства, изменение климата, более высокий уровень осведомленности о важности охраны окружающей среды являются факторами, которые дополнительно обременяют и без того ограниченные возможности традиционного сельскохозяйственного производства. Принимая во внимание все условия, при которых ведется сельскохозяйственное производство, а также прогнозы на будущее, вполне вероятно, что традиционное сельскохозяйственное производство не сможет производить достаточное количество продуктов питания, потому что для этого требуется огромный человеческий труд и больше времени для организации самого производства [8]. Традиционное

сельское хозяйство практикует единообразное применение средств подкормки, фунгицидов, гербицидов, инсектицидов, воды для орошения, что в дальнейшем приводит к нерациональному использованию ресурсов [11]. Кроме того, традиционное сельскохозяйственное производство серьезно нарушает биоразнообразие из-за интенсивного негативного воздействия на окружающую среду. Многие согласны с тем, что традиционное сельскохозяйственное производство не может решить проблему производства достаточного количества продуктов питания приемлемым для здоровья человека и окружающей среды образом, будучи при этом экономически оправданным. Во время интенсивного развития передовых технологий в качестве решения предлагается новая концепция сельскохозяйственного производства под названием «точное земледелие».

До промышленной революции сельскохозяйственное производство было ограничено небольшими территориями, и в то время было мало или недостаточно информации об эффективности производственных систем и их различиях. Многие технологические достижения в XX и XXI веках привели к развитию системы сельскохозяйственного производства. Системы сельскохозяйственного производства выиграли от внедрения передовых технологий, разработанных в первую очередь для других отраслей промышленности [17]. Имплементация и интеграция современных технологий, прежде всего, геопространственных, в сельскохозяйственное производство позволили разработать совершенно новую концепцию точного земледелия.

Успех концепции точного земледелия заключается в объединении передовых технологий в единую систему, которая применима на уровне фермерского хозяйства и является функциональной и жизнеспособной [15]. Концепция точного земледелия имеет преимущества, главным образом, благодаря конвергенции нескольких технологий и методов, включая географическую информационную систему (ГИС), глобальную систему позиционирования (GPS), дистанционное обнаружение, расширенную обработку информации и телекоммуникации [7]. Точное земледелие является одним из 10 самых значимых нововведений в современном сельском хозяйстве [4].

Корни этой концепции восходят к первой половине XX века, когда исследователи из Университета в Иллинойсе (США) изучали изменчивость характеристик почвы и рекомендовали сельхозпроизводителям составлять карту изменений кислотности почвы, и в соответствии с этими результатами стандартизировать количество извести, применяемой на данных полях [10]. Хотя исследователи продолжали сообщать об изменчивости характеристик земли и урожайности на протяжении многих лет, использование механизации и тенденция интенсивного роста сельскохозяйственных земель привели к дальнейшей обработке сельскохозяйственных площадей как однородных поверхностей с точки зрения характеристик земли. Только начиная с середины 1980-х годов, когда американский изобретатель Ортлип [14] запатентовал изобретение для контроля применения удобрений, гербицидов и инсектицидов на основе карт, составленных и сохраненных в компьютере, концепция точного земледелия начинает привлекать все большее внимание. Широкое развитие она получает благодаря развитию спутниковых технологий и дистанционного зондирования.

В настоящей работе рассматривается концепция точного земледелия с теоретической и практической точки зрения. В теоретическом смысле в работе объяснена теоретическая концепция и значение использования модели точного земледелия через значение ГИС. Практический аспект точного земледелия в работе раскрывается через описание системы автоматизированного управления сельскохозяйственным производством и точного земледелия, разработанной и внедренной на территории Республики Сербской и Боснии и Герцеговины.

Материалы и методы

Сельскохозяйственные экосистемы являются переменными структурами. Пространственная неоднородность сельскохозяйственных поверхностей всегда вытекает из пространственных условий (например, геологии, почвенных характеристик, климата и т. д.) и современной практики. Концепция точного земледелия подразумевает управление сельскохозяйственным производством, так что все входные параметры и применяемые меры корректируют изменчивость пространства, на котором развивается сельскохозяйственное производство.

Точное сельское хозяйство использует геоинформацию для определения изменчивости внутри и между производственными площадями с целью обеспечения оптимального использования источников подпитки, защиты, воды и т.д. с целью достижения максимальной урожайности на единицу производственной площади. Для достижения этой цели необходимо собрать, обработать, проанализировать геопространственные данные и верно интерпретировать полученную информацию. Географическая информационная система (ГИС), в качестве инструмента для сбора и анализа пространственных данных, является ключевой технологией интегрированной системы точного земледелия [18].

Хотя существуют гораздо более сложные определения, простое описание точного земледелия гласит: «*Точное земледелие* – это методы и процедуры использования адекватных обработок в соответствующем месте на участке и в нужное время» [6].

Точное земледелие – это интегрированная информационно-производственная система, предназначенная для повышения эффективности, производительности, рентабельности сельскохозяйственного производства в долгосрочной перспективе, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду [5].

Применение точного земледелия основано на следующих основных предпосылках:

- значительные пространственные различия внутри поля обусловлены факторами, влияющими на урожайность сельскохозяйственных культур;
- причины пространственных различий могут быть определены и измерены;
- информация об измерениях может использоваться для эффективного изменения методов управления производством;
- улучшение экономического аспекта производства за счет увеличения урожайности оправдывает затраты.

Исследователи в области точного земледелия особенно сосредоточены на областях мониторинга, контроля, логистики и прогнозирования. Интегрированная система точного земледелия собирает информацию о земле, условиях урожая, климатических характеристиках и т.д. База данных точного земледелия обычно содержит [16]:

- информация об урожае: фазы роста, здоровье, потребности в питательных веществах;
- физико-химические характеристики почвы, глубина, текстура, состояние питательных веществ, минерализация, токсичность, температура почвы, потенциал продуктивности, влажность и т.д.;
- данные о микроклимате (сезонные и ежедневные);
- условия для поверхностного и подземного дренажа;
- инфраструктура для орошения и влагообеспеченности растений.

На современном уровне технико-технологического развития ГИС и дистанционное обнаружение являются основными составляющими разработки и применения концепции точного земледелия. Разработка ГИС и дистанционного обнаружения напрямую

позволили разработать сложные системы и инструменты для точного земледелия. ГИС является мощным набором инструментов для сбора, хранения, поиска, трансформации и представления пространственных данных [3]. Способность ГИС собирать, анализировать и визуализировать рабочие процессы и потоки, а также пространственные данные непосредственно из сельскохозяйственных районов, оказалась чрезвычайно полезной для всех, кто вовлечен в сельскохозяйственное производство. Интеграция геопро пространственных данных, полученных с помощью таких технологий, как ГИС, системы дистанционного обнаружения и глобальной системы позиционирования (GPS) дает возможность оптимизировать урожайность и снизить стоимость сельскохозяйственного производства.

В области точного земледелия выделяется компонент, в котором результаты исследований преобразуются в операционные системы для использования на производственных поверхностях. Функции ГИС поддерживают этот главный компонент, обеспечивая хорошую платформу для хранения данных, моделирования, презентации результатов, разработки пользовательского интерфейса и в комбинации с глобальной системой позиционирования предоставляет возможность контроля и навигации сельскохозяйственных машин [1; 2]. Природные условия невозможно контролировать, но их легче понять благодаря данным, собранным с помощью ГИС. Моделирование и симуляция определенных процессов и явлений на основе собранных пространственных данных ГИС создает дополнительную информацию для прогнозирования событий, оптимального использования ресурсов и максимизации прибыли. На основе ГИС было разработано много систем поддержки принятия решений с точки зрения оперативного применения точного земледелия.

Методы развития информационных систем на основе ГИС для точного земледелия основаны на методах разработки информационных систем, методах дистанционного обнаружения для обработки изображений, математически-статистических методах, метеорологических моделях и методах, а также картографических методах.

Результаты и обсуждение

В рамках определенной концепции была разработана и внедрена веб-версия автоматизированной системы управления сельскохозяйственным производством и точным земледелием на территории Республики Сербской и Боснии и Герцеговины, которая называется Этфарм (www.etfarm.ba).

Этфарм является целостной информационной системой, предназначенной для производителей сельскохозяйственной продукции, сельскохозяйственных консультантов, органов управления и научно-исследовательских учреждений. Она была разработана с использованием современных технологий и научных достижений. Система обеспечивает прямую и эффективную интеграцию науки в сельскохозяйственное производство. Основной целью системы Этфарм является автоматизация управления сельскохозяйственным производством с целью повышения урожайности и снижения затрат за счет мониторинга состояния сельскохозяйственных культур и планирования сельскохозяйственной деятельности с учетом концепции точного земледелия.

Система Этфарм обеспечивает своевременную и эффективную работу с удобрениями, подкормкой, защитой и т.д. в режиме реального времени. Сервис основан на инновационных инструментах, которые позволяют регулярно обновлять информацию о видах сельскохозяйственных культур, мероприятиях, проводимых на производственных участках, мониторинге состояния сельскохозяйственных культур,

мониторинге агроклиматических параметров и условий на производственных участках в течение вегетационного периода, а также регистрации и демонстрации появления болезней и вредителей на производственных участках. Данные для каждого производственного участка обрабатываются отдельно, а затем пользователю предоставляется понятная информация, которая дает ему возможность повысить продуктивность производственных участков. Благодаря Этфарм пользователь может в режиме реального времени отслеживать развитие сельскохозяйственных культур, отслеживать влияние агроклиматических условий и применяемых обработок, а также улучшать процесс принятия решений на основе исторических данных. С помощью сервиса Этфарм пользователь может увеличить потенциал производственных площадей, сэкономить на агрохимических ресурсах и в то же время уменьшить негативное воздействие или давление на окружающую среду.

Модули

Внедренная система управления сельскохозяйственным производством и точным земледелием содержит несколько модулей: спутниковый, агрометеорологический, организационный, аналитический, картографический, коммуникационный и модуль болезней и вредителей.

Спутниковый модуль – это модуль для мониторинга и анализа состояния сельскохозяйственных культур. Используя спутниковые снимки космической программы Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu>), миссия Сентинел Европейского космического агентства (ESA – <https://www.esa.int>) создает карты участков с индексами растительности, которые непосредственно отображают состояние посевов. Система включает в себя спутниковые изображения из программы Сентинел (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>), а именно: Сентинел 1 (радарные датчики) и Сентинел 2 (оптические датчики). Спутниковые изображения участков представляют собой своего рода «рентгеновские снимки» участков, которые, благодаря правильной интерпретации, дают точное и четкое понимание состояния сельскохозяйственных культур (а не «невооруженным глазом»), что позволяет своевременно и оптимально реализовать меры по оптимизации производства. Временные интервалы фотосъемки участков составляют от 2 до 6 дней, таким образом, каждые 2-6 дней пользователь получает представление о состоянии посевов на участке. Научная методология и сложные алгоритмы обрабатывают спутниковые изображения для каждого участка в системе, и в качестве конечного продукта, видимого для пользователей системы, карты состояния сельскохозяйственных культур показаны через индексы растительности, индекс засухи, радиолокационные карты, карты зон и т.п. С помощью спутниковых снимков отслеживаются участки, выявляется жизнеспособность или стресс сельскохозяйственных культур, выявляются аналогичные проблемы и их изменения во времени, которые могут повлиять на продуктивность. Обработанные спутниковые снимки доступны в учетной записи пользователя через несколько часов после публикации на странице ESA. Каждое спутниковое изображение в виде созданных индексов обрабатывается статистически, а статистические параметры помещаются в базу данных, чтобы можно было отслеживать изменения во времени, а также сравнивать ситуацию на графике между отдельными сезонами.

Агрометеорологический модуль состоит из двух сегментов: прогноза погоды и климатических параметров. В обоих сегментах отслеживаются следующие параметры: температура воздуха (минимальная, максимальная и средняя), количество и тип осадков, воздушное давление, относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность, радиация, суммарное испарение и т.д. Все данные относятся непосредственно к каждому производственному участку. На основе географических

координат и высоты над уровнем моря из модели определяются метеорологические параметры непосредственно для участка.

Испытания показали, что отклонения значений модели от ежедневных измерений незначительны, поэтому их можно надежно использовать при мониторинге и планировании сельскохозяйственного производства. Первый сегмент модуля (прогноз погоды) относится к трехдневному прогнозу, отображаемому по временным интервалам в соответствии с определенными метеорологическими параметрами. Второй сегмент модуля (параметры климата) вносит в базу данных определенные параметры за день для каждого зарегистрированного участка, так что пользователь в любой момент может использовать эти параметры для анализа агрометеорологических условий на участке и планировать следующие шаги.



Рис. 1. Модули системы Etfarm/Этфарм.

Организационный модуль состоит из двух сегментов: журнала операций и финансового калькулятора. Данный модуль позволяет простое внесение всех выполненных действий (обработка земли, посадка, защита, агротехника и т.д.), финансовые вложения или доходы на участке, а также их просмотр. Модуль позволяет более эффективно управлять сельскохозяйственным производством, поскольку в одном месте пользователь имеет обзор всех реализованных мероприятий, инвестиций и доходов. Используя этот модуль и регулярный ввод данных, можно создать базу данных, которая в будущих планах посредством их анализа позволит оптимизировать производство.

Модуль болезней и вредителей позволяет пользователю простым способом сообщить о возможном появлении болезней и вредителей на производственном участке и проверить появление болезней и вредителей на территории Боснии и Герцеговины. Если рядом с участком пользователя зафиксировано возникновение болезней и вредителей, пользователь может своевременно действовать на предупреждение. Свидетельство о болезни и вредителях визуально отображается на карте, так что пользователь может сразу увидеть, где находится его участок по отношению к участкам потенциального риска.

Аналитический модуль состоит из инструментов для точного земледелия, статистического анализа и анализа агрометеорологических условий. Используя инструменты точного земледелия, пользователи могут точно определить состояние азота на участке (локализовано) и определить точное количество удобрений для подкорма, точно определить дефицит влаги и необходимое количество воды для полива, определить точную дату начала полива, определить зоны и отклонения на участке с точки зрения жизнеспособности посевов и осуществления необходимых мероприятий и т.д. Статистический анализ позволяет анализировать статистические параметры обработанных спутниковых снимков и индексы посадки. Исходя из этого, можно отслеживать рост и развитие сельскохозяйственных культур в выбранный период или в течение сезонов, выявлять застой в развитии, оценивать урожайность и т.д. С помощью этих инструментов пользователь может легко отслеживать условия и состояние посевов на производственном участке в выбранные промежутки времени. Также анализируются агрометеорологические условия. Агрометеорологические параметры суммируются за выбранный период времени, и рассчитываются агрометеорологические показатели, такие, как: суммарное испарение, сумма температур, индекс влажности и суточная скорость роста кукурузы (GDU). Анализ агрометеорологических условий делает возможными своевременные действия с точки зрения защиты посевов, орошения и т.п.

Коммуникационный модуль позволяет пользователям системы общаться в форуме между собой, а также с поставщиком услуг.

Картографический модуль состоит из набора инструментов, которые облегчают и расширяют возможности использования системы Этфарм. Вот некоторые из наиболее важных инструментов: инструмент для геопозиционирования (с помощью мобильных устройств пользователь может найти любое зарегистрированное явление, задавать масштаб и т.д.), инструмент для рисования и измерения (используя этот инструмент, пользователь может, например, выполнять масштабирование и измерения участка, например, при создании плана удобрения он может определять и масштабировать зоны на участке с необходимым количеством удобрения), инструмент для распечатки карт (с его помощью пользователь может распечатать выбранные карты с нарисованными и пропорциональными элементами), инструмент для просмотра выбранных карт по временным рядам (пользователь может визуально заметить развитие посевов на участке), инструмент для фильтрации (простым способом пользователь фильтрует участки по дате, индексу и участку), инструмент для создания и добавления новых участков и т.п.

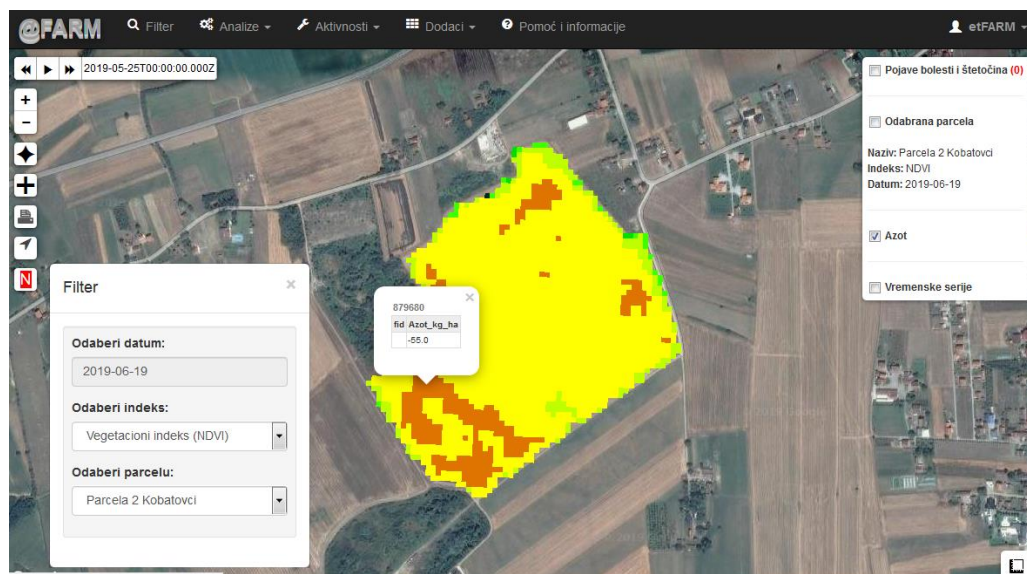


Рис. 2. Внешний вид пользовательской панели Этфарм с аналитической картой дефицита азота в посевах озимой пшеницы. Составлено автором

Продукты и инструменты

Система управления сельскохозяйственным производством и точным земледелием содержит ряд продуктов и инструментов, которые позволяют реализовать концепцию точного земледелия на сельскохозяйственных участках, включенных в систему. Ниже приведен список основных продуктов и инструментов, интегрированных в систему.

Карты вегетационных показателей, по которым можно постоянно следить за состоянием посевов. Спутниковые данные позволяют легко отслеживать текущее состояние сельскохозяйственных культур на каждом производственном участке и облегчают планирование агрономических мероприятий. Они дают представление об изменчивости роста культур, как между производственными участками, так и на каждом участке отдельно, от посева до сбора урожая. Индексы и переменные, которые отслеживаются с помощью карт, сгенерированных по спутниковым снимкам: содержание хлорофилла в растениях, содержание воды в растениях, LAI, NDVI, SAVI, PSRI, NDMI, коэффициент урожайности, FAPAR, FCOVER и другие. Картирование растительных индексов и биофизических переменных позволяет локализовать обработку на участке, точно определить время и количество средств для подкорма и защиты.

Диаграммы временных рядов для мониторинга и анализа роста и развития посевов в период производства или между сезонами. Диаграмма временных рядов также контролирует метеорологические параметры для каждого производственного участка.

Аналитические инструменты для точного земледелия содержат инструменты для определения состояния азота и калькулятора хранения азота, определения состояния влаги и необходимого количества для орошения, инструменты для определения зоны управления на участке с точки зрения зонирования и отклонения на участке, инструменты для статистического и агрометеорологического анализа.

Агрометеорологическая информация генерируется на основе агрометеорологических данных, собираемых ежедневно для каждого участка в отдельности. Некоторые из наиболее важных обрабатываемых агрометеорологических данных: суммарное испарение, баланс влажности /индекса засухи, сумма осадков, GDU (Единицы степени роста), сумма температур ($> = 10$) и т.п. На основе

агрометеорологической информации можно отслеживать рост и развитие посевов, планировать орошение, защиту и подкорм.

Прогноз погоды дает представление о текущем состоянии каждого производства и прогнозе погоды, на основе которого пользователи могут планировать свою деятельность.

Геолокация, которая имплементирована в систему, позволяет использовать мобильные устройства с GPS-модулем на участке для определения точного охвата отдельных зон управления и в соответствии с этим проводить обработку на участке с точки зрения удобрения, подкормки посевов, защиты или орошения.

На основании инструмента для *измерения масштаба* можно получить информацию, необходимую для осуществления определенных действий на производственных площадках, таких, как: соотношение площади и количества семян, защита, подкормка и т. п.

Электронный журнал операций позволяет регистрировать все действия, выполняемые на производственных площадках, позволяя пользователям отслеживать всю соответствующую информацию о выполненных действиях, а также информацию о росте и развитии сельскохозяйственных культур на каждом из производственных участков в течение сезона или в промежутке между сезонами.

Финансовый калькулятор позволяет записывать все виды расходов и доходов. Пользователь может в любое время ознакомиться с финансовым балансом каждого участка в отдельности.

База данных заболеваний и вредителей. Регистрируя возникновение болезней и вредителей на производственных участках, пользователь получает возможность предупреждать других пользователей в своем непосредственном окружении, тем самым обеспечивая профилактические действия и подавляя распространение негативных последствий происшествия. Кроме того, создав базу данных зарегистрированных случаев заболеваний и вредителей, пользователю будет предоставлена возможность более адекватной разработки плана защиты посевов в предстоящие сезоны.

Хранение собранных и просмотренных данных и информации с производственных участков. Все собранные, обработанные и проанализированные данные хранятся в базах данных для каждого производственного участка, что дает пользователю возможность более глубокого анализа предыдущих сезонов и сравнения с текущим, а также планирования деятельности на предстоящие сезоны.

Обмен и экспорт хранимых данных и информации. Все карты и таблицы могут быть легко экспортированы в популярные форматы файлов и могут быть использованы в других приложениях, а также импортированы в устройства на специальных тракторах для точного земледелия.

Преимущества

В зависимости от профиля или группы пользователей преимущества использования этой системы можно разделить на две группы.

Преимущества для производителей и консультантов по сельскому хозяйству:

- все производственные участки и вся информация о них в одном месте;
- мониторинг в реальном времени;
- распознавание стресса у растений быстрее, чем невооруженным глазом;
- своевременная реакция;
- мониторинг развития и изменений посевов;
- раннее выявление болезней и недостатка питательных веществ;
- оптимальное использование воды, средств для подкорма и защиты;

- локализация действий;
- выбор оптимальных сортов;
- мониторинг изменения влажности в растениях;
- сравнительный анализ производственных участков, анализов на участке;
- оценка роста и урожая;
- план полива;
- планирование и оптимизация будущего производства;
- экономия времени;
- увеличение урожайности;
- уменьшение расходов;
- уменьшение давления или негативного воздействия на окружающую среду;
- адаптация к негативным последствиям изменения климата.
- преимущества для уполномоченных учреждений (министерства, научно-исследовательские учреждения и т.п.):
- базы данных (обновляются ежедневно) для каждого производственного участка;
- собранные данные и информация являются основой для принятия планов развития сельскохозяйственного производства и т.п.;
- мониторинг реализации мер стимулирования и их эффективности;
- улучшение работы и развитие консультационной службы;
- огромный источник информации и данных для научных исследований;
- учет последствий стихийных бедствий в режиме реального времени на каждом участке.

Все остальные непосредственные участники цепочки сельскохозяйственного производства также могут извлечь выгоду из использования или внедрения систем управления сельскохозяйственным производством и точного земледелия. Прежде всего, это компании, занимающиеся производством или продажей сырья для сельскохозяйственного производства (средства защиты, удобрения и т.п.). Также страховые компании могут получить косвенную выгоду.

Выводы

В последние десятилетия в мире уделялось значительное внимание системам автоматизированного управления сельскохозяйственным производством и точного земледелия. Всё большее значение приобретает внедрение в сельскохозяйственное производство информационных и коммуникационных технологий, особенно основанных на ГИС. Давление на сельскохозяйственное производство в форме растущего спроса на продукты питания, экологических рисков, изменения климата и рыночных условий, с одной стороны, и интенсивное развитие науки, техники и технологий, с другой стороны, привели к появлению большого числа автоматизированных систем управления сельскохозяйственным производством и точного земледелия. В настоящей работе представлена одна из таких систем.

Описанная система представляет собой набор модулей и инструментов, которые позволяют реализовать концепцию точного земледелия на каждом отдельном участке. Локализация действий, которую делает возможной данная система, с точки зрения удобрения, подкорма урожая, защиты и полива, играет значительную роль в повышении урожайности и снижении затрат на сельскохозяйственное производство. Увеличение урожайности отражается в своевременных и локализованных действиях на участке с точно отмеренными дозами удобрений, защиты или воды. Снижение затрат является

результатом запланированного потребления сырья за один производственный цикл. В отличие от обычного сельскохозяйственного производства, где весь участок обрабатывается одинаковым количеством сырья, точное земледелие выполняет локализованные действия, что значительно влияет на снижение расходования удобрений, средств защиты, воды и т.п.

Представленная в настоящей работе система является достаточно новой, внедренной менее года назад, поэтому у нас нет информации о финансовых преимуществах ее использования. Однако исследования, анализирующие аналогичные системы, показывают, что экономический эффект для ферм, участвующих в системе точного земледелия, может увеличиться на 20-30% [19; 20] в результате сокращения расходования сырья и рабочей силы, и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур.

Системы точного земледелия не решают проблем, связанных с производством продуктов питания в мире, но, безусловно, с научной и практической точки зрения смогут внести существенный вклад в повышение производительности, сокращение затрат, смягчение экологических последствий и более эффективную адаптацию сельхозпроизводителей к изменению климата.

Литература

1. Bregt A. K. GIS support for precision agriculture: problems and possibilities. Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. Chichester: Wiley. 1997. pp. 173-181.
2. Bregt A. K. GIS support for precision agriculture: problems and possibilities. Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. Chichester (UK): Wiley. 2007. pp. 173-181.
3. Burrough P. A., & McDonnell R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press. 1998.
4. Crookston K. R. Top 10 List of Developments and Issues Impacting Crop Management and Ecology During the Past 50 Years. Crop Science. 2006. 46. pp.2253-2262.
5. Earl R., Wheeler P. N., Blackmoore, B. S., & Goodwin, R. J. Precision farming-the management of variability. The Journal of the Institution of Agricultural Engineers. 1996. 51. pp. 18-23.
6. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. Science. 2010. 327. pp. 828-831.
7. Gibbons, G. Turning a Farm Art into Science / an Overview of Precision Farming. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.precisionfarming.com>.
8. Herath S., Mohri H., Wong P., Mishra B., Sampath D. S., Weerakoon S. B., Woldie D. Traditional and modern agriculture mosaic system for improving resilience to global change. Conference on Sri Lanka-Japan Collaborative Research (SLJCR 2013). Sri Lanka: University of Peradeniya, Peradeniya. 2013.
9. Kai A., Gao-di X., Yun-fa L., & Yu X. Design of farmland gis for precision agriculture. Science Press, Beijing, China. 2003. pp. 20-24.
10. Linsley C. M., & Bauer F. C. Test your soil for acidity. Champaign: College of Agriculture and Agricultural Experiment Station, University of Illinois. 1929.
11. Mandal D., & Ghosh S. K. (2000). The emerging concept of agriculture for today and tomorrow. Current Science. 2000. 79(12). pp. 1644-1647.
12. Manić E. GIS bazirane tehnologije i njihova primena u poljoprivred. Glasnik SGD. 2009.

13. Mulla D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Elsevier. 2012. pp. 358-371.
14. Ortlip E. W. US Patent No. 4,630,773. 1986.
15. Sood K., Singh S., Rana R. S., Rana A., Kalia V., & Kaushal A. Application of GIS in precision agriculture. National Seminar on "Precision Farming technologies for high Himalayas". Precision farming development centre and High Mountain Arid Agriculture Research Institute, Leh, Ladakh, Jammu and Kashmir, India. 2015.
16. Venkataratnam L. Remote sensing and GIS in agricultural resources management. National Conference on Agro-Informatics. Dharwad. 2001. pp. 20-29.
17. Yousefi M. R., & Razdari A. M. Application of GIS and GPS in Precision Agriculture (A Review). International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2014. pp. 473-476.
18. YU Ge-nong Z. Y. Precision Agriculture and action countermeasure of China [J]. Beijing: Journal of Natural Resources. 1999.
19. Understanding the benefits: An independent cost / benefit analysis of precision farming. Intelligent Precision Farming, May 2015.
20. Pablo J. Zarco-Tejada Neil Hubbard and Philippe Loudjani Precision agriculture: An opportunity for farmers-potential support with the CAP 2014-2020. European Parliament's Committee on Agriculture and Rural Development. 2014.

Baich D.¹
Gnyato R.²
Trbich G.³
Adzhich D.⁴
Gnyato S.⁵
Todorovich S.⁶
Lukich N.⁷

Geographic information systems and precision agriculture: concept, theory and practice

¹ University of Banja Luka, Republic of Srpska, Banja Luka
e-mail: davorin.bajic@pmf.unibl.org

² University of Banja Luka, Republic of Srpska, Banja Luka,
e-mail: gnjator@pmfbl.org

³ University of Banja Luka, Republic of Srpska, Banja Luka,
e-mail: goran.trbic@pmf.unibl.org

⁴ University of Banja Luka, Republic of Srpska, Banja Luka
e-mail: draadzic@gmail.com

⁵ University of Banja Luka, Republic of Srpska, Banja Luka
e-mail: slobodan.gnjato@pmf.unibl.org

⁶ Fund for Environmental Protection and Energy Efficiency of the Republic of Srpska, Banja Luka
e-mail: srdjan.todorovic@ekofondrs.org

⁷ Fund for Environmental Protection and Energy Efficiency of the Republic of Srpska, Banja Luka
e-mail: nebojsa.lukic@ekofondrs.org

Abstract. The article presents the concept of precision agriculture based on geographic information systems (GIS). In the first part of the paper the theoretical concept of precision agriculture and the significance of GIS in its development and implementation are considered. The second part of the paper deals with the practical implementation of systems for automated management and precision agriculture (Etfarm). In addition to theoretical and practical elaborations, the paper emphasizes the benefits of precision agriculture in practice, which are reflected in the production, but also in financial and ecological aspect.

Key words: *precision agriculture, GIS, remote sensing.*

References

1. Bregt A. K. GIS support for precision agriculture: problems and possibilities. Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. Chichester: Wiley. 1997. pp. 173-181. (in English)
2. Bregt A. K. GIS support for precision agriculture: problems and possibilities. Precision agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality. Chichester (UK): Wiley. 2007. pp. 173-181. (in English)
3. Burrough P. A., & McDonnell R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press. 1998. (in English)
4. Crookston K. R. Top 10 List of Developments and Issues Impacting Crop Management and Ecology During the Past 50 Years. Crop Science. 2006. 46. pp.2253-2262. (in English)
5. Earl R., Wheeler P. N., Blackmoore, B. S., & Goodwin, R. J. Precision farming-the managment of variability. The Journal of the Institution of Agricultural Engineers. 1996. 51. pp. 18-23. (in English)
6. Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision Agriculture and Food Security. Science. 2010. 327. pp. 828-831. (in English)
7. Gibbons, G. Turning a Farm Art into Science / an Overview of Precision Farming. URL: <http://www.precisionfarming.com>. (in English)
8. Herath S., Mohri H., Wong P., Mishra B., Sampath D. S., Weerakoon S. B., Woldie D. Traditional and moderan agriculture mosaic system for improving resilience to global change. Conference on Sri Lanka-Japan Collaborative Research (SLJCR 2013). Sri Lanka: University of Peradeniya, Peradeniya. 2013. (in English)
9. Kai A., Gao-di X., Yun-fa L., & Yu X. Design of farmland gis for precision agriculture. Science Press, Beijing, China. 2003. pp. 20 - 24. (in English)
10. Linsley C. M., & Bauer F. C. Test your soil for acidity. Champaign: College of Agricultureand Agricultural Experiment Station, University of Illinois.1929. (in English)
11. Mandal D., & Ghosh S. K. (2000). The emerging concept of agriculture for today and tomorrow. Current Science. 2000. 79(12). pp. 1644-1647. (in English)
12. Manić E. GIS bazirane tehnologije i njihova primena u poljoprivred. Glasnik SGD. 2009.
13. Mulla D. J. wenty five years of remote sensing in precision agriculture:Key advances and remaining knowledge gaps. Elsevier. 2012. pp. 358-371. (in English)
14. Ortlip E. W. US Patent No. 4,630,773. 1986. (in English)
15. Sood K., Singh S., Rana R. S., Rana A., Kalia V., & Kaushal A. Application of GIS in precision agriculture. National Seminar on “Precision Farming technologies for high Himalayas”. Precision farming development centre and High Mountain Arid Agriculture Research Insitutue, Leh, Ladakh, Jammu and Kashmir, India.2015. (in English)
16. Venkataratnam L. Remote sensing and GIS in agricultural resources managment. National Conference on Agro-Informatics. Dharwad. 2001. pp. 20-29. (in English)
17. Yousefi M. R., & Razdari A. M. Application of GIS and GPS in Precision Agriculture (A Review). International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2014. pp. 473-476. (in English)
18. YU Ge-nong Z. Y. Precision Agriculture and action countermeasure of China[J]. Beijing: Journal of Natural Resources. 1999. (in English)
19. Understanding the benefits: An independent cost / benefit analysis of precision farming. Intelligent Precision Farming, May 2015. (in English)

20. Pablo J. Zarco-Tejada Neil Hubbard and Philippe Loudjani Precision agriculture: An opportunity foreu farmers-potential support withthe cap 2014-2020. European Parliament's Committee on Agriculture and Rural Development. 2014. (in English)

Поступила в редакцию 01.07.2019 г.