

ВНЕДРЕНИЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В КОНТЕКСТЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**Т. Н. МЫСЛЫВА, О. А. КУЦАЕВА**

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: byrty41@yahoo.com; alexa-1982@bk.ru

(Поступила в редакцию 22.10.2020)

В условиях постоянного удорожания энергоресурсов, сырья для производства минеральных удобрений и наличия дефицита органических удобрений актуальной становится проблема поиска путей увеличения экономической эффективности использования земельных ресурсов. Одним из способов ее успешного решения является внедрение инновационных технологий в сфере землепользования, в частности технологии точного земледелия. Беларусь имеет достаточно высокий потенциал для внедрения системы точного земледелия либо отдельных ее элементов в аграрное производство. Среди основных преимуществ – наличие 1389 сельскохозяйственных предприятий со средним размером землепользований свыше 6,0 тыс. га по площади сельскохозяйственных угодий и 4,1 тыс. га – по площади пахотных земель. Однако только 2,55 % сельскохозяйственных угодий принадлежит крестьянским фермерским хозяйствам, а 87,9% принадлежит государственным сельскохозяйственным предприятиям различных форм собственности, которые являются землепользователями или арендаторами, но не землевладельцами. Исходя из сложившейся ситуации, развитие систем точного земледелия должно осуществляться в первую очередь для крупных сельскохозяйственных предприятий, а не для частных хозяйств. Наряду с преимуществами существуют проблемы, которые препятствуют широкому внедрению систем точного земледелия в сельскохозяйственной отрасли страны. Одной из них является существующая система внутрихозяйственного землеустройства, ориентированная на традиционное энерго- и ресурсоемкое сельское хозяйство.

Ключевые слова: точное земледелие, внедрение, перспективы, землеустройство, цифровые технологии, рентабельность.

In the context of constant rise in the cost of energy resources, raw materials for the production of mineral fertilizers and the presence of a shortage of organic fertilizers, the problem of finding ways to increase economic efficiency of the use of land resources becomes urgent. One of the ways to successfully solve it is the introduction of innovative technologies in the field of land use, in particular, precision farming technology. Belarus has a high enough potential for introducing a precision farming system or its individual elements into agricultural production. Among the main advantages is the presence of 1389 agricultural enterprises with an average land area of over 6.0 thousand hectares in terms of agricultural land area and 4.1 thousand hectares in terms of arable land. However, only 2.55 % of agricultural land belongs to peasant farms, and 87.9 % belongs to state agricultural enterprises of various forms of ownership, which are land users or tenants, but not landowners. Based on the current situation, the development of precision farming systems should be carried out primarily for large agricultural enterprises, and not for private farms. Along with the advantages, there are problems that prevent the widespread introduction of precision farming systems in the country's agricultural sector. One of them is the existing system of on-farm land management focused on traditional energy and resource intensive agriculture.

Key words: precision farming, implementation, prospects, land management, digital technologies, profitability.

Введение

Производственный потенциал сельскохозяйственной отрасли, в особенности земледелия, определяют количественные и качественные характеристики земель, качество которых, в свою очередь, определяется плодородием их почвенного покрова. Именно от качества земель во многом зависит как экономическая эффективность их использования, так и эффективность земледелия в целом [1]. Интенсификация процессов глобализации мировой экономики привела к ситуации, когда аграрное производство всех без исключения стран, не зависимо от уровня их экономического развития, столкнулось с рядом серьезных проблем, связанных как с возрастающим спросом на не возобновляемые энергоресурсы и пресную воду и их недостатком, так и с усилением процессов урбанизации и сокращением площадей, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, вследствие усиления эрозионных процессов и опустынивания, вызванных глобальным потеплением климата. В частности, за последнее десятилетие сокращение площади пахотных земель в Европе, согласно прогнозным оценкам, к 2030 году достигнет 1,12 % [3–4]; для Беларуси этот показатель колеблется в пределах от 0,1 до 0,4 % [5]. В условиях постоянного удорожания энергоресурсов, сырья для производства минеральных удобрений и наличия дефицита органических удобрений актуальной становится проблема поиска путей увеличения экономической эффективности использования земельных ресурсов. Одним из способов ее успешного решения является внедрение инновационных технологий в сфере землепользования, в частности технологии точного земледелия [6].

Целями данной статьи являются: 1) обзор перспектив и существующих проблем при внедрении технологии точного земледелия либо его отдельных элементов в сельское хозяйство Беларуси в контексте существующей государственной собственности на земли сельскохозяйственного назначения; 2) анализ результатов, полученных при внедрении элементов системы точного земледелия в сельскохозяйственных предприятиях Могилевской области Республики Беларусь.

Основная часть

Точное земледелие – современная концепция управления сельским хозяйством, использующая цифровые методы для мониторинга и оптимизации процессов сельскохозяйственного производства. Его главная цель – увеличить количество и качество получаемой сельскохозяйственной продукции при меньшем потреблении энергетических и материальных ресурсов и обеспечении снижения негативного воздействия на окружающую среду [7, 8]. На сегодняшний день как в мире, так и в Республике Беларусь отсутствует стандартизированное определение понятия «точное земледелие», а его сущность трактуется с различных позиций, имеющих тем не менее определенные общие черты, хорошо прослеживаемые в процессе эволюции данной дефиниции (табл. 1).

Таблица 1. Эволюция определения «точное земледелие»

| Год | Источник | Формулировка определения |
|-----------|------------------------------------|--|
| 1994 | Pierce et al. [9] | Целью точного земледелия является согласование сельскохозяйственных ресурсов и методов с локализованными условиями в поле с целью выполнения правильных действий в нужном месте, в нужное время и в правильном направлении |
| 1994–1995 | Robert, Rust & Larson [10] | Управление урожаем для конкретного участка – это информационно-технологическая система управления сельским хозяйством, позволяющая выявлять, анализировать и управлять пространственной и временной изменчивостью участков почвы на полях для обеспечения оптимальной прибыльности, устойчивости и защиты окружающей среды |
| 1996 | Stafford [11] | Точное земледелие – это ориентация ресурсов на производство сельскохозяйственных культур в соответствии с их потребностями на локализованной основе |
| 1996 | Johansen [12] | Точное земледелие – это тщательная подгонка почвы и управления урожаем с целью соответствовать различным условиям на каждом поле |
| 1996 | Kitchen [13] | Точное земледелие – это сбор информации, планирование управления и полевых операций, улучшающих понимание и управление почвенными и ландшафтными ресурсами таким образом, чтобы вложения в управленческие практики использовались более эффективно, чем при применении традиционных универсальных стратегий |
| 1997 | The National Research Council [14] | Точное земледелие – это стратегия управления, в которой используются информационные технологии, позволяющие получать данные из нескольких источников для принятия решений, связанных с растениеводством |
| 1997 | Pierce & Sadler [15] | Управление конкретным участком для сельского хозяйства – это управление почвами и сельскохозяйственными культурами в соответствии с условиями, сложившимися на конкретном поле |
| 1997 | Lowenberg-DeBoer, & Swinton [16] | Точное земледелие – это электронный мониторинг и контроль, применяемый для сбора данных, обработки информации и поддержки принятия решений для временного и пространственного распределения ресурсов для производства сельскохозяйственных культур |
| 1998 | Olson & Kent [17] | Точное земледелие – это применение комплексной стратегии управления, в которой используются информационные технологии, позволяющие получать данные из нескольких источников для принятия решений, касающихся сельскохозяйственного производства, маркетинга, финансов и персонала |
| 1999 | Pierce & Nowak [18] | Точное земледелие – это применение технологий и принципов для управления пространственной и временной изменчивостью, связанной со всеми аспектами сельскохозяйственного производства, с целью повышения урожайности и качества окружающей среды |
| 2000 | McBratney & Taylor [19] | Точное земледелие – это использование новых информационных технологий совместно с агрономическим опытом для конкретного участка с целью: 1) максимизировать эффективность производства; 2) максимизировать качество продукции; 3) минимизировать воздействие на окружающую среду; 4) минимизировать риск |
| 2000 | Robert [20] | Точное земледелие – это не просто внедрение новых технологий, это скорее информационная революция, которая стала возможной благодаря новым технологиям, которые привели к более высокому уровню, более точной системе управления сельским хозяйством |
| 2000 | Whelan & McBratney [21] | Точное земледелие следует рассматривать как философский сдвиг в управлении изменчивостью в сельскохозяйственных отраслях. Оно должно быть направлено на повышение прибыльности и снижение воздействия на окружающую среду как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Его можно определить как сопоставление применения ресурсов и агрономических методов с требованиями к почве и культурам, поскольку они различаются в пространстве и во времени в пределах поля |
| 2001 | McBratney & | Точное земледелие может быть определено как наблюдение, оценка воздействия и свое- |

| | | |
|------|--|--|
| | Whelan [22] | временное стратегическое реагирование на мелкомасштабную вариацию причинных компонентов процесса сельскохозяйственного производства |
| 2001 | Plant [23] | Управление конкретным участком (также называемое точным земледелием) – это управление сельскохозяйственными культурами в пространственном масштабе меньшем, чем целое поле |
| 2002 | US Code, House of Representatives [24] | Термин «точное земледелие» означает интегрированную информационную и производственную систему земледелия, предназначенную для повышения долгосрочной, специфической для конкретного объекта и всего сельского хозяйства эффективности, производительности и прибыльности производства при минимизации непреднамеренного воздействия на окружающую среду, предусматривающую: (А) объединение сельскохозяйственных наук, ресурсов и практики сельского хозяйства, баз данных агрономического производства и технологий точного земледелия для эффективного управления системами агрономического, садоводческого и животноводческого производства; (В) сбор внутривозрастной информации, относящейся к изменению и взаимодействию специфических для участка пространственных и временных факторов, влияющих на урожай и животноводство; (С) своевременное объединение такой информации с соответствующими данными, полученными по результатам полевых обследований, дистанционного зондирования и других технологий точного земледелия, чтобы облегчить принятие решений; (D) использование такой информации для предписания и предоставления конкретного применения сельскохозяйственных ресурсов и методов управления в системах сельскохозяйственного производства; (Е) использование такой информации для создания интеллектуальных механизированных систем сбора и сортировки садовых культур |
| 2004 | Dobermann et al. [25] | Точное земледелие – это системный подход к управлению почвами и сельскохозяйственными культурами для уменьшения неопределенности в принятии решений посредством лучшего понимания и управления пространственной и временной изменчивостью |
| 2005 | McBratney, Whelan, Anece & Bouma [26] | Точное земледелие – это такой тип сельского хозяйства, который увеличивает количество правильных решений на единицу площади земли в единицу времени с соответствующими чистыми выгодами |
| 2006 | Srinivasan [27] | Точное земледелие – это целостная и экологически безопасная стратегия, в рамках которой фермеры могут варьировать использование ресурсов и методы выращивания, включая внесение семян, удобрений, пестицидов и воды, выбор сортов, посадку, обработку почвы, уборку урожая, – чтобы соответствовать изменяющимся условиям почвы и урожая на поле |
| 2007 | Whelan [28] | Точное земледелие – это форма сайт-специфического управления растениеводством, посредством которой решения по применению ресурсов и практике управления растениями совершенствуются для лучшего соответствия требованиям почвы и сельскохозяйственных культур, поскольку они различаются в каждом отдельном поле |
| 2008 | Khosla [29] | Точное земледелие – это применение входных данных в правильное время, в правильном количестве, в правильном месте и из правильного источника |
| 2010 | Adamchuk & Gebbers [30] | Точное земледелие – это точное сельское хозяйство или информационное управление системами сельскохозяйственного производства |
| 2014 | Zarco-Tejada et al. [3] | Точное земледелие – это подход к управлению сельским хозяйством, использующий информационные технологии, данные спутникового позиционирования (GNSS), дистанционное зондирование и сбор проксимальных данных |
| 2015 | Fountas, Aggelopoulou & Gemtos [31] | Точное земледелие может быть определено как управление пространственной и временной изменчивостью полей с использованием информационных и коммуникационных технологий |
| 2019 | International Society for Precision Agriculture [32] | Точное земледелие – это стратегия управления, которая собирает, обрабатывает и анализирует временные, пространственные и индивидуальные данные и объединяет их с другой информацией для поддержки управленческих решений в соответствии с предполагаемой изменчивостью для повышения эффективности использования ресурсов, производительности, качества, прибыльности и устойчивости сельскохозяйственного производства |

Среди наиболее часто встречающихся во всех определениях понятия «точное земледелие» положений следует особо выделить констатацию того, что точное земледелие: представляет собой систему или стратегию управления всеми аспектами сельскохозяйственного производства [1, 11, 15, 17, 18, 23–25, 27, 28, 30–33]; предусматривает дифференциацию любых действий и применения ресурсов с учетом пространственной и временной изменчивости в пределах поля либо земельного участка [9, 11, 12, 15, 16, 21, 27, 28]; обеспечивает повышение прибыльности и снижение негативного воздействия на окружающую среду [10, 13, 18, 19, 21, 24, 32]; использует информационные и коммуникационные технологии [3, 14, 17, 19, 20, 29, 31, 33].

Следует отметить, что именно неправильное понимание самой сути понятия «точное земледелие» ведет к неприятию его положений как аграриями-практиками, так и учеными, вызывая неправильную трактовку данного явления и отождествление понятий «точное земледелие» и «земледелие», которые

по существу не являются синонимами. Кроме того, в представлении как большинства агропроизводителей, так и специалистов научно-исследовательских учреждений аграрного профиля точное земледелие отождествляется исключительно с управлением сельскохозяйственной техникой с помощью GPS-навигации, что есть в корне неправильным, поскольку глобальное геопозиционирование – это только часть подсистемы точного земледелия, но никак не ее аналог.

Технологии точного земледелия подразделяют на три основные подсистемы: 1) навигационные технологии (аппаратное и программное обеспечение, координирующее движение сельскохозяйственной техники на поле); 2) регистрирующие технологии, использующие функциональные возможности геоинформационных систем и позволяющие выполнять дистанционный мониторинг и визуализацию его результатов; 3) реагирующие технологии – инструменты, аппаратное и программное обеспечение, которые позволяют варьировать размещение и использование сельскохозяйственных ресурсов.

Мировой рынок технологий точного земледелия в среднем составляет 2,3 миллиарда евро и, как ожидается, с каждым годом будет увеличиваться в среднем на 12 %. В частности, в ЕС рост доли использования сельскохозяйственной техники, оборудованной системами точного позиционирования, возрастет с 7,5 % в 2010 году до 35 % в 2020 году, а рост продаж такой техники составит от 100 тыс. единиц/год в 2010 году до 500 тыс. единиц/год в 2020 году [3].

Беларусь имеет достаточно высокий потенциал для внедрения системы точного земледелия либо отдельных ее элементов в аграрное производство. Среди основных преимуществ – наличие 1389 сельскохозяйственных предприятий со средним размером землепользований свыше 6,0 тыс. га по площади сельскохозяйственных угодий и 4,1 тыс. га – по площади пахотных земель. По данным реестра земельных ресурсов по состоянию на 1 января 2020 г. общая площадь земель Беларуси составляет 20760,0 тыс. га, в том числе 8390,6 тыс. га сельскохозяйственных земель (40,4 % территории), из которых 5713,1 тыс. га или 27,5% территории – пахотные. Для сравнения на территории ЕС функционирует 10,7 млн частных сельскохозяйственных предприятий со средней площадью 16 га из которых 44,1 % которых имеют площадь менее 2 га, 86 % – площадь менее 20 га и только 3,2 % от общего количества фермерских хозяйств – площадь более 100 га. Общая площадь сельскохозяйственных земель в пределах Евросоюза составляет 174358,310 тыс. га (40 % территории), из которых 104203,330 тыс. га, или 59,8 % отведено под пахотные земли [2].

Следует отметить, что именно размер землепользования является одним из наиболее важных факторов, влияющих на скорость внедрения прецизионных технологий [34–36]. В пользу этого говорит и тот факт, что технологии точного земледелия более интенсивно развиваются в странах Европы с большими размерами ферм: Великобритании, Дании, Франции, Германии, средний размер фермы в которых составляет 95 га, 70 га, 60 га и 59 га соответственно, а также в США, Канаде и Австралии, где средний размер фермы превышает 100 га. По оценкам экономистов внедрение такого элемента точного земледелия, как система автопилотирования сельскохозяйственной техники может быть рентабельным в сельхозпредприятиях с площадью 100–300 га и больше сельскохозяйственных земель [3]. На уменьшение рисков при внедрении точного земледелия с увеличением размера землепользования указывается и в работах [8, 37]. Значительным преимуществом является и то, что Беларусь имеет высокоразвитое сельскохозяйственное машиностроение и производит собственные комбайны и трактора, оснащенные системами точного GPS-позиционирования американской компании Trimble, что значительно удешевляет затраты на закупку высокоточной техники для сельскохозяйственных производителей. Примеры такой техники – зерноуборочный комбайн «Палессе» GS2124 производства ОАО «Гомсельмаш», оснащенный системой картирования урожайности и трактора производства ОАО «Минский тракторный завод», оборудованные системой автовождения Trimble Autopilot. Также положительным фактором следует считать сосредоточение сельскохозяйственных земель преимущественно в руках государства, что открывает для сельхозпроизводителей широкие возможности в получении государственной финансовой поддержки, в частности на модернизацию производства и покупку высокоточной техники. Исходя из сложившейся ситуации в сфере землевладения и землепользования, развитие систем точного земледелия в Беларуси возможно и целесообразно осуществлять прежде всего в крупных сельскохозяйственных предприятиях, а не в частных фермерских хозяйствах, как это принято в Европе и США. Более того, поскольку аграрный сектор экономики в Беларуси имеет много черт, присущих плановому ведению хозяйства, внедрение систем точного земледелия должно производиться по вертикали сверху вниз: от Министерства сельского хозяйства и продовольствия к областным комитетам по сельскому хозяйству и продовольствию и далее к районным управлениям

по сельскому хозяйству и продовольствию и наконец к сельскохозяйственным предприятиям различных форм собственности. Однако наряду с преимуществами существуют как объективные, так и субъективные причины, препятствующие широкой имплементации систем точного земледелия в аграрное производство страны (рис. 1).

Сильные стороны

- **Наличие** более 1380 сельскохозяйственных предприятий со средним землепользованием более 5,3 тыс. га сельскохозяйственных земель.
- **Концентрация** земель сельскохозяйственного назначения в руках государства (87,6% от общей площади)
- **Наличие** мощностей по производству тракторов и комбайнов собственного производства, оснащенных системой GPS-позиционирования

Возможности

- **Снижение** амортизационных отчислений на 10%
- **Снижение** расхода удобрений на 10-30%
- **Снижение** расхода средств защиты растений на 15-60%
- **Снижение** расхода топлива на 10-15%
- **Увеличение** производительности на 10-20%
- **Уменьшение** антропогенного воздействия на окружающую среду



Слабые стороны

- **Отсутствие** высокоточного оборудования для обработки почвы и ухода за растениями и специалистов с соответствующей подготовкой в области IT-технологий
- **Отсутствие** актуальных данных о наличии зон внутриполевой пространственной неоднородности
- **Существующая** система внутрихозяйственного землеустройства, ориентированная на традиционные энергоемкие и ресурсоемкие технологии

Угрозы

- **Непонимание** сельхозпроизводителями сути точного земледелия и нежелание ломать традиционные устои
- **Потребность** в стартовом капитале для создания полноценной системы точного земледелия в рамках отдельного сельскохозяйственного предприятия
- **Нежелание** органов государственной исполнительной власти внедрять инновационные технологии

Рис. 1. Результаты SWOT-анализа внедрения точного земледелия в сельском хозяйстве Республики Беларусь

Первой из них является значительный объем затрат денежных средств на создание полноценной системы точного земледелия в пределах отдельного сельскохозяйственного предприятия и длительные периоды их окупаемости. Ведь для организации такой системы необходима закупка специальной техники и лицензионного программного обеспечения, создание корпоративной стационарной и локальной сети управления, приобретение беспилотных летательных аппаратов и лицензионного программного обеспечения для интерпретации результатов съемки, полученных с их помощью. Например, средняя цена стоимости линейки разбрасывателей минеральных удобрений Amazone ZA-M 1500 и MXL 8200 ISOBUS, используемых для дифференцированного внесения минеральных удобрений, составляет свыше 20 тыс. BYN, цена отечественного зерноуборочного комбайна, оснащенного системой картирования урожайности, превышает 320 тыс. BYN, а стоимость сенсорных датчиков азота типа Trimble GreenSeeker или Yara N-Sensor варьирует от 1,2 тыс. до 3,55 тыс. BYN. Применение данных дистанционного зондирования также сопряжено с определенными затратами: средняя стоимость беспилотного летательного аппарата – агродрона в зависимости от его типа и страны производителя колеблется от 6 до 18 тыс. долларов, а цена программного обеспечения Pix4Dag для обработки данных достигает свыше 5 тыс. долларов. Такие затраты вполне приемлемы для больших агрохолдингов, но являются непосильными для небольших сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств.

Еще одной причиной, сдерживающей широкое внедрение точного земледелия в сельскохозяйственных организациях Беларуси, является существующая система внутрихозяйственного землеустройства, ориентированная на традиционное энерго- и ресурсозатратное земледелие, и не учитывающая наличия неоднородностей в пределах отдельного поля либо земельного участка – ключевых факторов для координатного земледелия. Следует отметить, что внутрихозяйственное землеустройство – элемент управления земельными ресурсами, сохранившийся в Республике Беларусь со времен существования СССР по причине сохранения как государственной собственности на земли сельскохозяйственного назначения, так и сельскохозяйственных предприятий, существовавших в советский

период в форме колхозов и совхозов. Однако, в настоящее время в Беларуси преобладают работы, связанные с межхозяйственным землеустройством, состоящие в обновлении данных земельно-информационной системы, разработке проектов отводов земельных участков, оформлении технической документации и установлении на местности границ земельных участков в связи с образованием сельскохозяйственных и несельскохозяйственных землепользований. Вместе с тем необходимо отметить исключительную важность проведения внутрихозяйственного землеустройства в контексте перехода к цифровому земледелию, поскольку именно данный вид землеустроительной деятельности создаёт территориальную основу для эффективного использования земель, их охраны и внедрения инновационных систем хозяйствования (табл. 2).

Таблица 2. **Функции внутрихозяйственного землеустройства при внедрении элементов системы точного земледелия в Беларуси**

| Элемент системы точного земледелия | Функция внутрихозяйственного землеустройства | Степень реализации функции |
|--|--|----------------------------|
| Цифровые контуры полей севооборота | Создание векторных моделей и базы геопространственных данных о границах полей | Реализована частично |
| Мониторинг внутриполевой пестроты почвенного плодородия | Создание геопозиционированной сети мониторинговых наблюдений | Не реализована |
| Цифровое картографирование внутриполевой пестроты почвенного плодородия | Создание прогнозных моделей пространственного распределения агрохимических, физико-химических и агрофизических свойств почвы | Не реализована |
| Цифровое картографирование урожайности | Создание цифровых карт динамики внутриполевой продуктивности сельскохозяйственных культур | Не реализована |
| Создание карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений | Идентификация и выделение однородных по агрофизическим и агрохимическим свойствам почв и агротехнологическим характеристикам зон | Не реализована |

Главная задача современного землеустройства в существующих социально-экономических условиях Беларуси в контексте внедрения точного земледелия заключается в разработке методики создания актуальных картографических материалов и дифференциации территории землепользования по комплексу показателей качества земель, с одновременным созданием динамических картографических изображений и базы геопространственных данных об имеющихся показателях количественного и качественного состояния почв. Рынок подобного рода продуктов в структуре элементов системы точного земледелия в странах ЕС за последние 5 лет увеличился более, чем на 17,5 % и составляет около 32 % [2], демонстрируя устойчивую тенденцию к увеличению.

Идентификация менеджмент-зон, под которыми подразумевают субрегионы поля, определяемые относительной однородностью продуктивности выращиваемых в его пределах сельскохозяйственных культур и/или почвенных параметров, требующие применения одинаковой нормы удобрений, дозы пестицидов [38, 39], и их дальнейшее использование для дифференцированного внесения фосфорных и калийных минеральных удобрений являются важными и взаимосвязанными составляющими регистрирующей и реагирующей технологий точного земледелия. Существует два основных подхода к определению менеджмент-зон: 1) поля разделяются на зоны управления в соответствии со значениями одной или нескольких характеристик почвы или урожая; 2) менеджмент-зоны определяются по величине окупаемости затрат урожаем [40]. Поскольку элементы технологии точного земледелия только начали внедряться в Беларуси, применение подхода, основанного на экономических характеристиках, не представляется возможным. Однако и определение зон по значениям почвенных параметров и показателям урожайности также имеет ряд ограничений. В частности, на сегодняшний день в сельскохозяйственных предприятиях Беларуси имеется незначительное количество комбайнов, оснащенных приспособлениями для точного учета урожая. Исходя из этого, при разработке методики определения менеджмент-зон для условий Республики Беларусь в качестве исходных показателей следует использовать почвенные параметры, получаемые при проведении агрохимического обследования и наиболее часто используемые агрономическими службами сельскохозяйственных предприятий: содержание в почве гумуса, подвижных фосфора и калия, а также pH почвенного раствора.

На примере землепользования РУП «Учебно-опытное хозяйство БГСХА» (Горечкий район, Могилевская область) площадью свыше 8 тыс. га была разработана методика формирования однородных территориальных менеджмент-зон в процессе внутрихозяйственного землеустройства при внедрении точного земледелия (рис. 2). При идентификации менеджмент-зон с соответствующим качеством земель в пределах конкретного сельскохозяйственного предприятия в качестве исходных данных целесообразно использовать: данные земельно-информационной системы (ЗИС) на территорию выполне-

ния работ по разграничению менеджмент-зон; данные агрохимического обследования территории хозяйства областной проектно-изыскательской станцией агрохимизации.

Субъектами деятельности по идентификации менеджмент-зон должны стать дочерние предприятия Республиканского унитарного предприятия «Проектный институт Белгипрозем», выполняющие комплекс работ по внутрихозяйственному землеустройству.

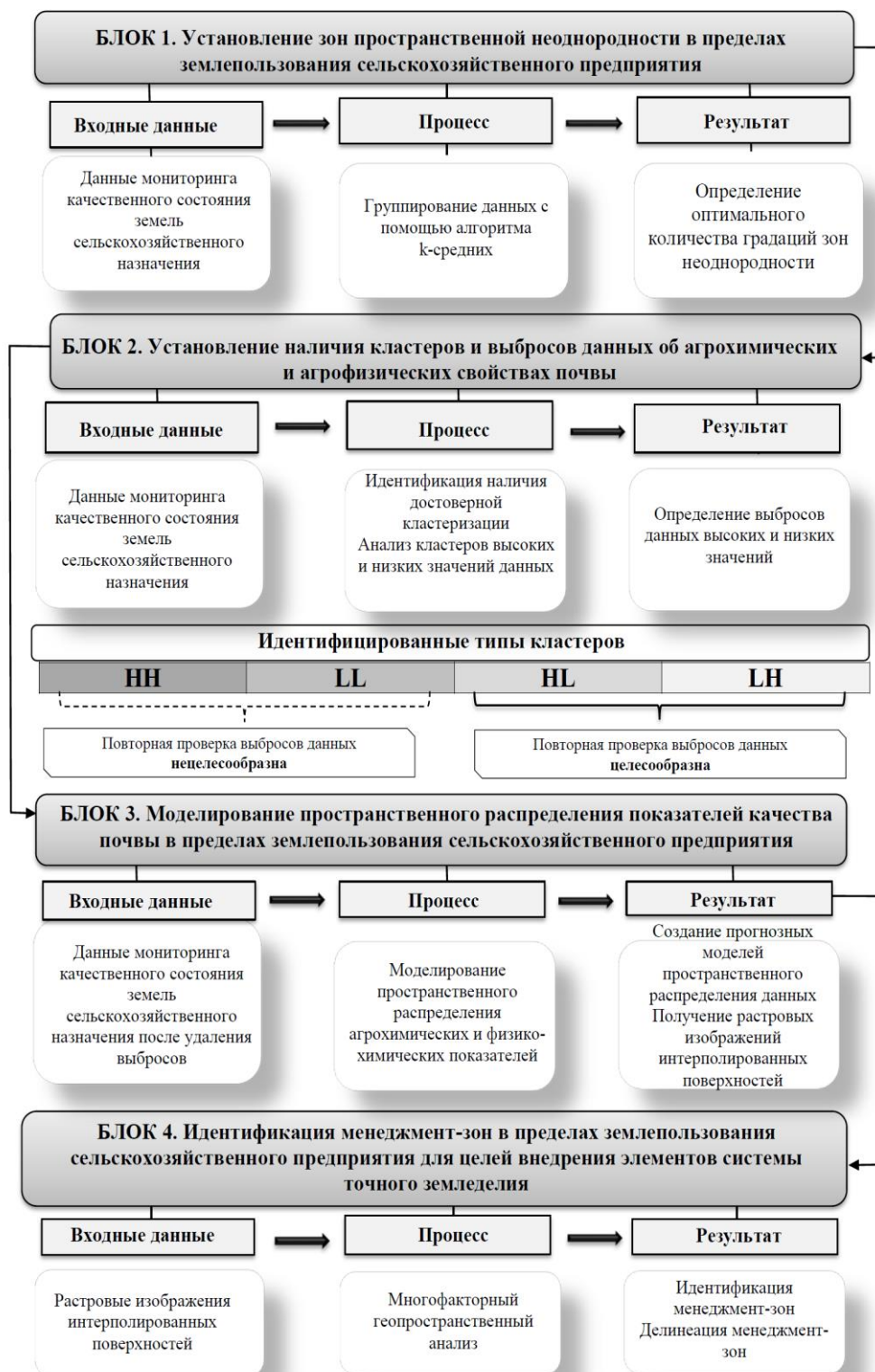


Рис. 2. Механизм идентификации менеджмент-зон с соответствующим качеством земель для целей точного земледелия (разработано авторами)

Точное земледелие – это качественно новая система земледелия, которая использует информационные технологии, извлекая данные из множества различных источников, и обеспечивает принятие оптимальных решений по управлению сельскохозяйственным предприятием [32]. Наиболее востребованными на сегодня в аграрном секторе элементами технологии точного земледелия являются следующие (в % от общего количества): 1) мониторинг сельскохозяйственных культур с использованием данных дистанционного зондирования – 48; 2) картирование урожайности – 25; 3) использование систем параллельного вождения – 29; картирование внутривополевой неоднородности почвы – 19; дифференцированное внесение удобрений – 19 [41]. В Беларуси агропроизводители постепенно внедряют отдельные элементы системы точного земледелия, однако очень часто это ограничивается покупкой тракторов, оснащенных системой параллельного вождения, а также комбайнов с системой картографирования урожайности.

Наиболее приемлемой для современных социально-экономических условий, сложившихся в Беларуси, и учитывающей, в частности, национальные особенности права собственности на земли сельскохозяйственного назначения, является стратегия дифференцированного внесения удобрений, базирующаяся на внесении их по менеджмент-зонам с таким расчетом, чтобы количество и соотношение питательных элементов с учетом их почвенных запасов было достаточным для получения запланированной урожайности сельскохозяйственных культур. Дифференцированное применение удобрений возможно осуществлять по двум технологиям [42, 43]: *on-line* технология или RT-технология, при которой удобрения вносятся избирательно без предварительного картографирования, а доза удобрений определяется непосредственно перед внесением; *off-line* технология, при которой применение различных доз удобрений осуществляется с использованием предварительно созданных карт-заданий. Именно *off-line* технология наиболее точно соответствует концепции точного земледелия, обеспечивая максимальную экономию ресурсов за счет использования возможностей современных информационных технологий. Ее внедрение в конкретном сельскохозяйственном предприятии должно предусматривать прохождение четырех последовательных этапов: 1 – создание базы геопространственных данных, содержащей сведения об основных почвенных параметрах полей и отдельных элементарных участков, и цифровых карт полей севооборотов; 2 – идентификация и делинеация менеджмент-зон в пределах отдельных полей севооборота; 3 – разработка электронных карт-заданий для дифференцированного внесения минеральных удобрений; 4 – дифференцированное внесение удобрений в режиме *off-line*, когда бортовой компьютер агрегата считывает информацию с карты-задания и управляет положением дозирующих заслонок, увеличивая или уменьшая подачу удобрений. На примере РУП «Учебно-опытное хозяйство БГСХА» установлено, что за счет перераспределения дозы удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственных культур в пределах отдельных полей севооборота на площади 1411,76 га с учетом идентифицированных менеджмент-зон возможно сэкономить от 2,5 до 21,8 кг/га действующего вещества фосфора и от 0,9 до 26,7 кг/га действующего вещества калия. Максимальная экономия фосфорных удобрений достигается при применении их под озимую пшеницу, кукурузу на силос и горох, выращиваемый на зерно, а калийных – при применении под озимую пшеницу, сахарную свеклу и тритикале яровую. Дифференцированное применение фосфорных и калийных минеральных удобрений позволяет повысить рентабельность выращивания озимых зерновых на 2,2 %, сахарной свеклы – на 1,3 %, рапса на маслосемена – на 1,1 %, пивоваренного ячменя – на 0,8 %.

Заключение

Для обеспечения энергоресурсосбережения и экологизации современного аграрного производства Беларуси необходимо широкое внедрение системы точного земледелия либо ее отдельных элементов.

Среди факторов, способствующих широкому внедрению точного земледелия в аграрном производстве страны, следует отметить наличие более 1380 сельскохозяйственных предприятий со средним размером землепользований свыше 5,3 тыс. га, имеющих государственную поддержку, а также высокоразвитое сельскохозяйственное машиностроение.

Одной из основных причин, препятствующих широкой имплементации точного земледелия, является существующая система внутривладельческого землеустройства, ориентированная на традиционное энерго- и ресурсозатратное земледелие и не учитывающая наличия неоднородностей в пределах отдельного поля либо земельного участка.

Учитывая тот факт, что земли сельскохозяйственного назначения в Беларуси являются исключительной собственностью государства, внедрение точного земледелия на базе любого землепользования невозможно без внедрения цифрового землеустройства. В связи с этим одной из основных функ-

ций современного внутрихозяйственного землеустройства должно стать выделение однородных по агрофизическим и агрохимическим свойствам почв и агротехнологическим характеристикам участков пахотных земель для оптимизации сельскохозяйственного землепользования с учетом требований высокорентабельных сельскохозяйственных культур.

Наиболее перспективными для внедрения в Беларуси элементами технологии точного земледелия являются дифференцированное внесение минеральных удобрений и химических мелиорантов, а также использование данных дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения для мониторинга развития и прогноза продуктивности сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мысльва, Т. Н. Практические аспекты использования методов геопространственного анализа в землеустройстве и земельном кадастре / Т. Н. Мысльва, О. А. Куцаева // *Земля Беларуси*. – 2018. – №3. – С. 14–18.
2. Daheim, C. Precision agriculture and the future of farming in Europe / Daheim C., Poppe K., Schrijver R. – Directorate-General for Parliamentary Research Services, 2016. – 274 p.
3. Zarco-Tejada, P. J. Precision agriculture: an opportunity for EU farmers – potential support with the cap 2014-2020 / P. J. Zarco-Tejada, N. Hubbard, Ph. Loudjani. – Joint Research Centre of the European Commission, Brussels, 2014. – 57 p.
4. EU agricultural outlook for markets and income, 2018-2030 / European Commission. – DG Agriculture and Rural Development, Brussels, 2018. – 128 p.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск. – 2019. – 212 с.
6. Куцаева, О. А. Создание менеджмент-зон для дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием инструментов геостатистики / О. А. Куцаева // *Вестник БГСХА*. – 2020. – №2. – С. 176–181.
7. Якушев, В. В. Точное земледелие: теория и практика: монография / В. В. Якушев. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
8. Maloku D. Adoption of precision farming technologies: USA and EU situation / D. Maloku // *Practical Application of Science*. – 2020. – Vol. VIII. – Issue 22. – P. 7–14.
9. Pierce, F. J. Site Specific Management: The Pros, the Cons, and the Realities / F. J. Pierce, P. C. Robert, G. Mangold / *Proceedings of the Integrated Crop Management Conference*. – Iowa State University: Iowa State Univ. Press, Ames, 1994. P. 17–21.
10. Robert, P. C. Site-specific management for agricultural systems / P. C. Robert, R. H. Rust, W. E. Larson. – *Proceedings of the 2-nd International Conference on Precision Agriculture (March 27-30, 1994, Minneapolis, USA)*. – Department of Soil Science and Minnesota Extension Service: University of Minnesota. 1995. – P. 13.
11. Stafford, J. V. Essential technology for precision agriculture / J. V. Stafford / *In: Precision Agriculture*. – *Proceedings of the 3-d International Conference on Precision Agriculture (June 23-26, 1996, Madison, USA)*. – Department of Soil Science and Minnesota Extension Service: University of Minnesota. 1996. – P. 595–604.
12. Johansen, C. J. Overview of precision farming / C. J. Johansen // *In: Proceedings of Information Ag Conference*. Champaign, IL, July, 1996. – P. 53–54.
13. Missouri precision agriculture research and education // N. R. Kitchen, K. A. Sudduth, S. J. Birrel, S. C. Borgelt / *In: Precision Agriculture*. – *Proceedings of the 3-d International Conference on Precision Agriculture (June 23–26, 1996, Madison, USA)*. – Department of Soil Science and Minnesota Extension Service: University of Minnesota, 1996. – P. 1091–1100.
14. National Research Council Precision agriculture in the 21st century: geospatial and information technologies in crop management / Washington, D.C., USA: National Academy Press, 1997. – 168 p.
15. Pierce, F. J. The state of site-specific management for agriculture / F. J. Pierce, E. J. Sadler / *The state of site-specific management for agriculture*. – Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 1997. – P. 1–18.
16. Lowenberg-DeBoer, J. Economics of Site-Specific management in agronomic crops / J. Lowenberg-DeBoer, S. M. Swinton / *In: The state of site-specific management for agriculture*. – Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 1997. – P. 369–396.
17. Olson, K. Precision agriculture: current economic and environmental issues / K. Olson / *In: Proceedings of the 6-th Joint Conference on Food, Agriculture and the Environment (31 August–2 September 1998, University of Minnesota, St. Paul, USA)* – Department of Soil Science and Minnesota Extension Service: University of Minnesota, 1998. – P. 213–220.
18. Pierce, F. J. Aspects of precision agriculture / F. J. Pierce, P. Nowak // *Advances in Agronomy*. – 1999. – Vol. 67. – P. 1–85.
19. McBratney, A. B. PV or not PV? / A. B. McBratney, J. A. Taylor / *Proceedings of the Fifth International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology*. – Melbourne, Australia, 2000. – P. 10.
20. Robert, P. C. Site-specific management for the twenty-first century / P. C. Robert // *Horticulture Technology*. – 2000. – Vol. 10(3). – P. 444–447.
21. Whelan, B. M., The «null hypothesis» of precision agriculture management / B. M. Whelan, A. B. McBratney // *Precision Agriculture*. – 2000. – Vol. 2(3). – P. 265–279.
22. McBratney, A. B. Precision Ag - Oz style / A. B. McBratney, B. M. Whelan / *In: First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*. – Sydney, Australia, 2001. – P. 274–282.
23. Plant, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production / R. E. Plant // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2001. – №30 (1–3). – P. 9–29.
24. US House of representatives. US code. Title 7-Agriculture. Chapter 103-Agricultural research, extension, and education reform. Subchapter II-New agricultural research, extension, and education initiatives. – 2002. – Section 7623. (a) Definitions. – Washington, USA.
25. Precision farming: challenges and future directions / A. Dobermann, B. S. Blackmore, S. Cook, V. I. Adamchuk / *In: New Directions for a Diverse Planet. Proceeding of 4-th International Crop Science Congress*. – Brisbane, Australia, 2004. – P. 1–19.
26. McBratney, A. B. Future directions of precision agriculture / A. B. McBratney, B. Whelan, T. Ancev, J. Bouma // *Precision Agriculture*. – 2005. – Vol. 6(1). – P. 7–23.

27. Srinivasan, A. Handbook of precision agriculture. Principles and applications / A. Srinivasan. – New York: The Haworth Press Inc., 2006. – 683 p.
28. Whelan, B. Current status and future directions of PA in Australia / B. Whelan / In: Proceedings of the 2-nd Asian Conference on Precision Agriculture (2-4 August 2007, Pyeongtaek, Korea). – Pyeongtaek, 2007. – p. 60–71.
29. Khosla, R. The 9-th International Conference on Precision Agriculture opening ceremony presentation / R. Khosla, Proceedings of the 9-th International Conference on Precision Agriculture (July 20-23rd, 2008, Fort Collins, USA). – Colorado: Colorado State University, 2008. – P. 1–3.
30. Gebbers, R. Precision agriculture and food security / R. Gebbers, V. I. Adamchuk // Science. – 2010. – Vol. 327. – P. 828–831.
31. Fountas, S. Precision Agriculture / S. Fountas, K. Aggelopoulou, T. A. Gemtos / In: Supply Chain Management for Sustainable Food Networks. – Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2015. – P. 41–65.
32. Precision Ag Definition - Language Modal. – [Электронный ресурс]. – Официальный сайт Международного объединения точного земледелия (ISPA) – Режим доступа: www.ispag.org/about/definition
33. Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics / A. Balafoutis, B. Beck, S. Fountas [et al] // Sustainability. – 2017. – Vol. 9. – P. 2–28.
34. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries / S. M. Say, M. Keskin, M. Sehri, Y. E. Sekerli / International science and technology conference, July 17-19, 2017, Berlin, Germany; August 16–18, 2017 Cambridge, USA. – P. 41–49.
35. Keskin, M. Factors affecting the adoption of precision agriculture technologies and the usage rate of these technologies in the world / M. Keskin // Journal of Agricultural Machinery Science. – 2013. – №9. – С. 263–272.
36. Keskin, M. Awareness and adoption of precision agriculture in the Cukurova region of Turkey / M. Keskin, Y. E. Sekerli // Agronomy Research. – 2016. – Vol. 14(4). – 1307–1320.
37. Tey, Y. S. Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications / Y. S. Tey, M. Brindal // Precision Agriculture. – 2012. – Vol. 13. – P. 713–730.
38. Doerge, T. A. Management zone concepts. The site-specific management guidelines / T. A. Doerge / Potash and Phosphate Institute: South Dakota State University, 1999. – P. 1–4.
39. Edge, B. An economic-theory-based approach to management zone delineation / B. Edge. – In: Poster Proceedings of the 12th European Conference on Precision Agriculture, July 8–11, 2019, Montpellier, France. – P. 56–57.
40. Management zone delineation using a modified watershed algorithm / P. Roudier, B. Tisseyre, H. Poilvé, J. M. Roger // Precision Agriculture. – 2008. – Vol. 9(5). – P. 233–250.
41. Schimmelpfennig, D. Sequential adoption and cost savings from precision agriculture / D. Schimmelpfennig, R. Ebel // Journal of Agricultural and Resource Economics. – 2016. – Vol. 41(1). – P. 97–115.
42. Дифференцированное внесение удобрений в системе точного земледелия / В. А. Любич, С. В. Попов, Ф. Г. Бакиров [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 33. – №. 1–1. – С. 73–75.
43. Трубачева, Е. А. Оценка экономической эффективности инвестиций сельхозпредприятия во внедрение системы дифференцированного внесения удобрений / Е. А. Трубачева, М. Е. Трубилин // Кант. – 2014. – №4(13). – С. 35–37.