

# ПРЕЦИЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

## МИРОВОЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ БЕЛАРУСИ

Сельское хозяйство – важная сфера мировой экономики, обеспечивающая глобальную продовольственную безопасность. Именно на аграрном секторе лежит ответственность за производство достаточного количества сырья и продуктов питания для постоянно увеличивающегося населения планеты. Согласно докладу ООН, ожидается, что в ближайшие 30 лет население мира увеличится на 2 млрд человек – с 7,7 млрд в настоящее время до 9,7 млрд в 2050 г. [1]. Ежегодно рождается около 83 млн человек, и в случае сохранения данной тенденции будут возрастать и потребности в продовольствии.

Вместе с тем катастрофически уменьшаются площади пахотных земель. Их сокращение в Европе, согласно прогнозам, к 2030 г. достигнет 1,12% [2]; для Беларуси этот показатель колеблется в пределах от 0,1 до 0,4% [3]. Если не пересмотреть подходы к ведению сельскохозяйственного производства, глобальное количество пахотных и продуктивных земель на человека в 2050 г. сократится до 25% от уровня 1960 г. [4], а деградация почв поставит под угрозу существование около 3,2 млрд человек [5].

Интенсивно развивающаяся глобализация диктует свои законы в аграрной сфере, а сельское хозяйство развитых стран мира переходит на качественно иной уровень конкуренции – конкуренцию эффективности, поскольку объемы предложения не дают возможности значительного повышения цен: по прогнозам ФАО, на зерновые они снизятся в ближайшее десятилетие на 4–11% [6] (рис. 1).



**Тамара Мыслыва,**  
завкафедрой геодезии  
и фотограмметрии  
Белорусской  
государственной  
сельскохозяйственной  
академии, доктор  
сельскохозяйственных  
наук, доцент



**Бронислава Шелюто,**  
профессор кафедры  
кормопроизводства  
и хранения продукции  
растениеводства  
Белорусской  
государственной  
сельскохозяйственной  
академии, доктор  
сельскохозяйственных  
наук, профессор



**Олеся Куцаева,**  
старший преподаватель  
кафедры геодезии  
и фотограмметрии  
Белорусской  
государственной  
сельскохозяйственной  
академии

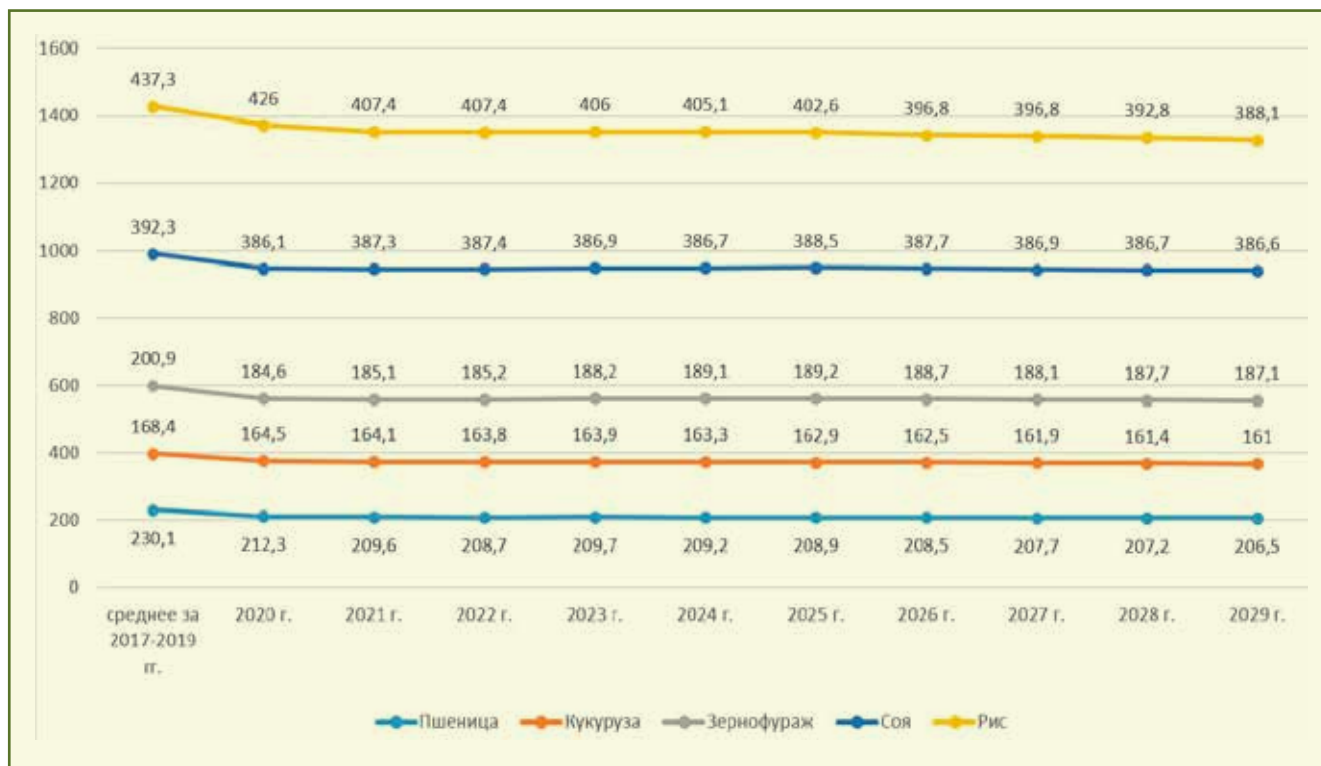


Рис. 1. Прогноз мировых цен на сельскохозяйственную продукцию (реальные цены, долл./т) [6]

В условиях постоянного удорожания энергоресурсов и сырья для производства минеральных удобрений, наличия дефицита органических, а также сокращения площадей, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, вследствие усиления эрозионных процессов и опустынивания, вызванных глобальным потеплением климата, актуальной становится проблема поиска наиболее эффективных способов управления рентабельностью и снижения себестоимости агропродукции. Один из путей ее успешного решения – внедрение инновационных технологий в сфере землепользования, в частности технологии точного земледелия [7].

В докладе Европейского парламента оно определяется как «современная концепция управления сельским хозяйством, использующая цифровые методы для мониторинга и оптимизации процессов сельскохозяйственного

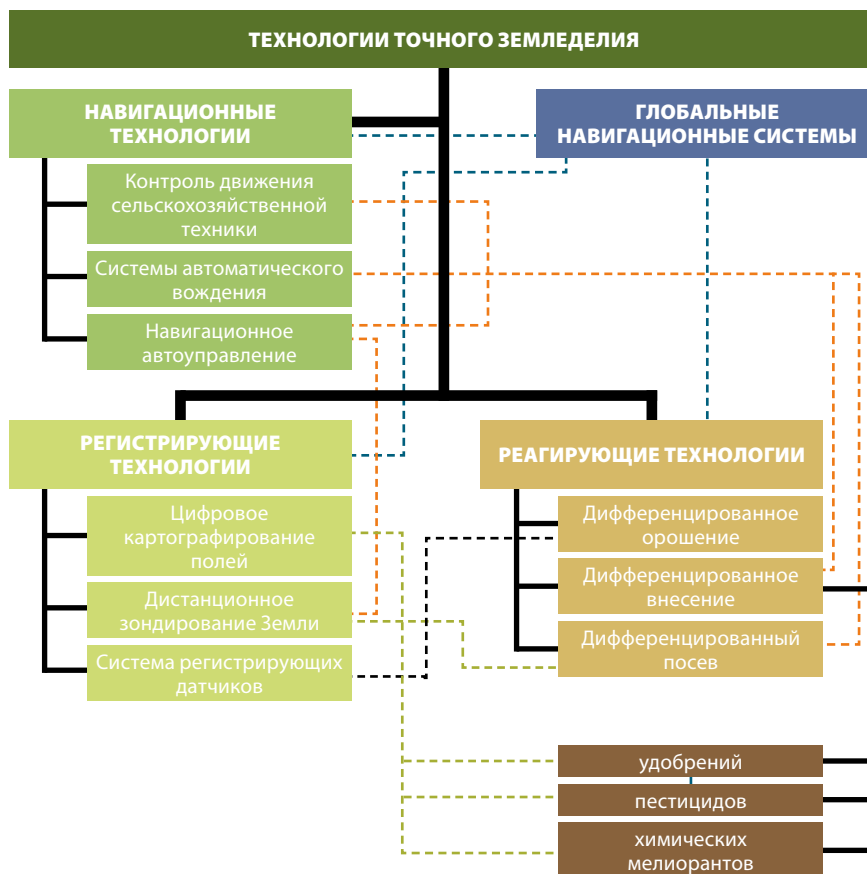


Рис. 2. Структура точного земледелия [11]

Страна / регион	Технология точного земледелия и уровень ее внедрения
Германия	30% ферм внедрили технологии точного земледелия
Венгрия	6,9% ферм используют элементы технологии точного земледелия
Дания	37% ферм применяют дифференцированное внесение удобрений; 29% – дифференцированное внесение извести; 92% – картирование урожайности; 75% – отбор почвенных образцов с использованием GPS
Великобритания / Англия	22% ферм используют параллельное вождение; 20% – ГИС-картографирование почв; 16% – дифференцированное внесение удобрений; 11% – картирование урожайности
Великобритания / Шотландия	83% ферм внедрили технологии точного земледелия
Великобритания / Ирландия	62% ферм внедрили технологии точного земледелия

Таблица 1. Внедрение технологий точного земледелия в отдельных странах Европы [9]

производства» [8–10]. Именно это является ключевым моментом и движущей силой прецизионного земледелия, конечный результат которого – оптимизация использования ресурсов, экономия затрат и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Технологии точного земледелия подразделяют на три основные подсистемы:

*навигационные* – глобальные системы спутникового геопозиционирования, аппаратное и программное обеспечение, координирующее движение сельскохозяйственной техники на поле;

*регистрирующие* – использующие сенсоры и датчики, а также данные дистанционного зондирования и функциональные возможности геоинформационных систем, выполняющие дистанци-

онный мониторинг и визуализацию его результатов;

*реагирующие* – механизмы, аппаратное и программное обеспечение, позволяющие варьировать размещение и переработку сельскохозяйственных ресурсов (рис. 2).

В высокоразвитых европейских странах преобладает режим землепользования, связанный с экологической составляющей, предусматривающий снижение антропогенного воздействия на окружающую среду посредством уменьшения объемов использования энергии, получаемой человеком из исчерпаемых источников, увеличения площади средостабилизирующих компонентов ландшафтов и деинтенсификации сельскохозяйственного производства. В этой связи широкое распространение в аграрном секторе этих стран приобрело точное земледелие как наиболее экологически сбалансированная система ведения сельского хозяйства (табл. 1).



Рис. 3. Динамика и прогноз использования элементов технологии точного земледелия в сельском хозяйстве США (данные исследования дилерских центров точного земледелия, % от общего количества предоставляемых услуг) [12]

Среди элементов точного земледелия, применяемых в США, являющихся пионером и мировым лидером в данной сфере, практически все фермеры практикуют отбор проб почвы с точным геопозиционированием. В ближайшей перспективе значительно возрастет доля использования спутниковых изображений – информационно-пространственной основы для идентификации менеджмент-зон или принятия решений для конкретных участков – с 70% в 2020 г. до 80% в 2022 г. Еще более высокий рост наблюдается в применении данных, получаемых с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), – с 41% в 2020 г. до 70% в 2022 г. (рис. 3).

Предполагается, что мировой рынок технологий точного земледелия возрастет с 7 млрд долл. в 2020 г. до 12,8 млрд к 2025 г. при среднегодовом темпе роста 12,7%. Максимальным ожидается показатель в 16,4% в период с 2020 по 2025 г. в Азиатско-Тихоокеанском регионе, прежде всего в таких странах, как Австралия, Индия, Китай и Индонезия [13].

Рынок точного земледелия состоит из трех сегментов: оборудование, программное обеспечение и услуги. Доминирующим остается первый, представленный системами автоматизации и управления, сенсорными устройствами, антеннами и датчиками, а также беспилотными летательными аппаратами, торговый оборот которых составляет свыше 30 млрд долл. Наиболее востребованными остаются картирование урожайности и создание электронных карт полей.

В перспективе в глобальном масштабе среди элементов технологии точного земледелия наиболее заметно увеличится доля использования данных дистанционного зондирования высо-

кого и сверхвысокого разрешения, в частности применение мультиспектральных и гиперспектральных изображений – надежного источника получения геопространственной информации, касающейся оценки уровня стресса, связанного с недостатком питательных веществ в почве и от засухи, мониторинга развития болезней и вредителей сельскохозяйственных культур, а также экологической составляющей. В ближайшие 3 года на 10–15% возрастет доля применения технологий, связанных с дифференцированным внесением минеральных удобрений, химических мелиорантов, пестицидов, а также высева семян [14].

Беларусь имеет достаточно высокий потенциал для внедрения системы точного земледелия либо отдельных ее элементов в аграрное производство. Среди основных преимуществ – наличие 1382 сельскохозяйственных предприятий со средним размером землепользований свыше 5 тыс. га по площади угодий и 3,6 тыс. га – пахотных земель [3]. По данным реестра земельных ресурсов, по состоянию на 01.01.2020 г. общая площадь земель Беларуси составляла 20 760 тыс. га, в том числе 8390,6 тыс. га сельскохозяйственных земель (40,4% территории), из которых 5713,1 тыс. га (27,5%) – пахотные.

Для сравнения: на территории ЕС функционирует около 10 млн фермерских хозяйств, занимающих примерно 170 млн га. Из них 86% ферм располагаются на площади менее 20 га, 97% – менее 100 га, а средний размер составляет около 17 га и является в 10 раз меньшим, чем таковой в США (175 га), в 15 раз – в Новой Зеландии (252 га) и в 47 раз – в Австралии (800 га). Более 70% всех ферм в ЕС сосредоточено в пяти стра-

нах: Румынии (3,6 млн), Польше (1,4 млн), Италии (1 млн), Испании (0,9 млн) и Греции (0,7 млн). Самую большую среднюю площадь имеют фермы в Чешской Республике (133 га), Великобритании (94 га), Словакии (81 га), Дании (67 га) и Люксембурге (63 га) [10, 15].

Важно отметить, что именно размер землепользования либо землевладения является одним из определяющих факторов, влияющих как на скорость внедрения прецизионных технологий, так и на экономическую эффективность их применения [7, 16]. Именно из-за небольшого размера землевладений, с которым напрямую связана прибыльность фермерского хозяйства, до сих пор менее 25% фермеров в ЕС имеют полноценный доступ к технологиям точного земледелия [15]. По оценкам экономистов, внедрение такого элемента, как система автопилотирования сельскохозяйственной техники, может быть рентабельным на предприятиях с площадью земель 100–300 га и больше [17]. На уменьшение рисков при использовании точного земледелия с увеличением размера землепользования указывается и в работах [9, 18].

Положительным фактором, способствующим имплементации прецизионных технологий, следует считать и сосредоточение сельскохозяйственных земель преимущественно в руках государства, а также то, что 22% от общего количества субъектов находится в его собственности, а 42,2% частных предприятий имеют долю государства в уставном капитале. Это открывает для сельхозпроизводителей широкие возможности в получении государственной финансовой поддержки при внедрении систем точного земледелия.

Значительным преимуществом является и то, что Беларусь имеет высокоразвитое сельскохозяйственное машиностроение и производит собственные комбайны и тракторы, оснащенные системами точного GPS-позиционирования американской компании Trimble. К примеру, зерноуборочный комбайн «Палессе» GS2124 оборудован системой картирования урожайности, а тракторы МТЗ – системой автовождения Trimble Autopilot.

Внедрение системы точного земледелия либо ее отдельных элементов в нашей стране наиболее целесообразно осуществлять прежде всего на крупных сельскохозяйственных предприятиях, а не в частных фермерских хозяйствах, как это принято в Европе и США. Более того, поскольку аграрный сектор экономики у нас имеет много черт, присущих плановому ведению хозяйства, процесс должен идти по вертикали – от общего к частному: от Министерства сельского хозяйства и продовольствия – к областным комитетам по сельскому хозяйству и продовольствию, далее

к районным управлениям и, наконец, к предприятиям различных форм собственности.

Наиболее перспективны для Беларуси – картографирование внутривидовой пестроты почвенного плодородия и выделение на его основе менеджмент-зон; дифференцированное применение удобрений и других агрохимикатов с учетом неоднородности полей; использование сельскохозяйственной техники, оснащенной системами точного геопозиционирования, а также данных дистанционного зондирования высокого и сверхвысокого разрешения и ГИС-технологий.

Что сдерживает широкое внедрение технологий точного земледелия в аграрное производство в нашей стране? Таких причин несколько, и они носят как объективный, так и субъективный характер (рис. 4).

Первая причина – непонимание и неправильная трактовка самого понятия «точное земледелие», которое большинством аграриев-практиков отождествляется только с управлением сельскохозяйственной техникой с помощью

GPS-навигации. Это ошибочное представление, поскольку интенсивно внедряемые в производство системы автопилотирования сельскохозяйственной техники – это лишь один из элементов навигационной подсистемы точного земледелия, но никак не ее аналог.

Не менее важна и необходимость существенных первоначальных затрат на создание полноценной системы точного земледелия в пределах отдельного агропредприятия. Ведь для ее организации понадобится закупать специальное программное обеспечение, создавать корпоративную стационарную и локальную сеть управления, приобретать беспилотные летательные аппараты и лицензионное ПО для интерпретации результатов съемки. Например, средняя цена линейки разбрасывателей минеральных удобрений Amazone ZA-M 1500 и MXL 8200 ISOBUS, используемых для дифференцированного внесения минеральных удобрений, – свыше 20 тыс. руб., стоимость отечественного зерноуборочного комбайна, оснащенного системой картирования урожайности, превышает 320 тыс. руб., сенсорных датчиков азота типа Trimble GreenSeeker или Yara N-Sensor – от 1,2 тыс. до 3,55 тыс. руб. [7]. Применение данных дистанционного зондирования также сопряжено с определенными затратами: средняя стоимость беспилотного летательного аппарата – агродрона – колеблется от 6 до 18 тыс. долл., а программного обеспечения Pix4Dfields для обработки данных превышает 5 тыс. долл. Такие затраты вполне приемлемы для крупных агрохолдингов, но непосильны для небольших предприятий и фермерских хозяйств.

Еще одна веская причина, значительно сдерживающая широ-

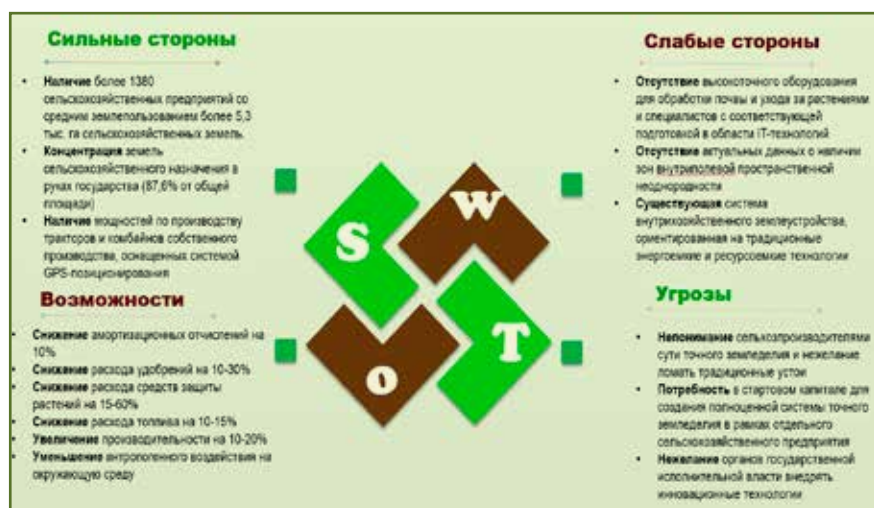


Рис. 4. SWOT-анализ внедрения системы точного земледелия в сельскохозяйственное производство Республики Беларусь (разработка Куцаевой О.А.)



Рис. 5. Мониторинг и оценка продуктивности силфий пронзеннолистной на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (д. Тушково, Горецкий р-н Могилевской обл.), июнь 2020 г.

кое внедрение точного земледелия в Беларуси, – существующая система внутрихозяйственного землеустройства, ориентированная на традиционное ресурсозатратное земледелие и не учитывающая наличия неоднородностей в пределах отдельного поля либо земельного участка – ключевых факторов данной технологии. Современные реалии требуют трансформации традиционного землеустройства в цифровое и переориентации его на разработку методики дифференциации территорий по комплексу показателей качества земель с одновременным созданием динамических картографических изображений и базы геопространственных данных по количественным и качественным характеристикам 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% [10], демонстрируя устойчивую тенденцию к росту.

Следует отметить и тот факт, что прецизионное сельское хозяйство как никакая другая отрасль производства нуждается в высокоточных данных, более 80% кото-

рых являются геопространственными. Оперировать ими можно посредством использования функциональных возможностей геоинформационных технологий. Более того, без них невозможно внедрить и эффективно использовать систему точного земледелия, а их освоение аграриями – это не вопрос выбора, а жизненная необходимость. Однако наблюдается нежелание сельскохозяйственных производителей идти на риски и внедрять инновационные методы хозяйствования,

что в значительной мере сдерживает и отсутствие IT-специалистов, имеющих соответствующую подготовку в сфере почвоведения, растениеводства, агрохимии и защиты растений. Современные технологии требуют создания и развития новых интегрированных аграрных специальностей, базой для которых может и должна стать Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (БГСХА).

Внедрение систем точного земледелия в аграрном секторе нашей страны позволит повысить производительность и уменьшить затраты, усовершенствовать систему управления и уменьшить негативное воздействие сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду. Однако успешная реализация данной цели возможна только при комплексном взаимодействии ученых-аграриев, агропроизводителей, специалистов IT-сферы и землеустроителей. Опыт такого партнерства уже имеется в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Начиная с 2017 г. на ее базе выполняются исследования по использованию данных ДДЗ

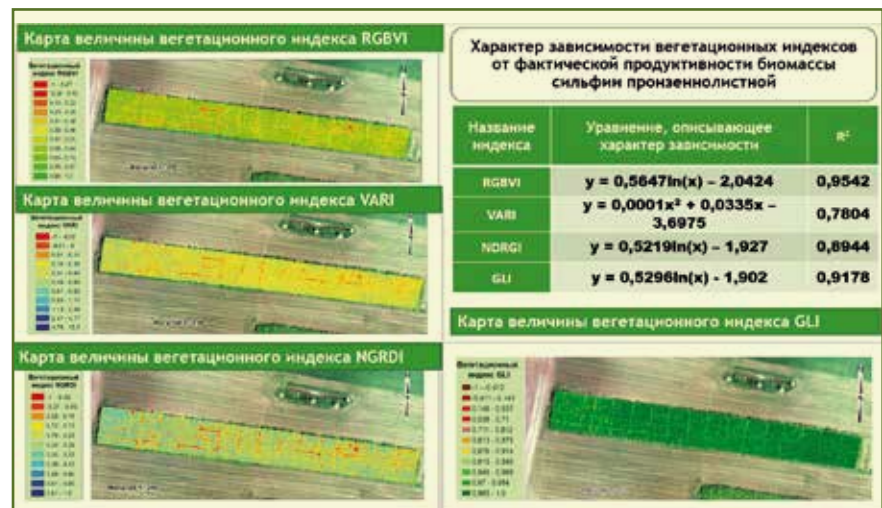


Рис. 6. Растровые изображения вегетационных индексов и уравнения, описывающие характер их зависимости от продуктивности биомассы силфий



Рис. 7. Мониторинг территории для закладки семенных посевов многолетних трав с использованием БПЛА РПУП «Устье» НАН Беларуси (д. Устье, Оршанский р-н Витебской обл.), июль 2020 г.

среднего разрешения (спутниковая съемка с платформ Landsat и Sentinel), находящихся в свободном доступе, для целей точного земледелия, в результате которых разработана и апробирована методика для создания следующих карт: развития основных сельскохозяйственных культур в процессе вегетации с пространственным разрешением 30 и 10 м и временным разрешением 16 и 10 дней; содержания азота в листьях растений (соответственно 30 м и 16 дней); его качественной оценки (10 м и 10 дней); количества хлорофилла в листьях растений (30 и 10 м и 16 и 10 дней); содержания влаги в почве и листьях растений (30 и 10 м и 16 и 10 дней); готовности посевов к проведению уборочных работ, создаваемых по разновременным данным дистанционного зондирования, а также разновременных карт доли убранных площадей в пределах сельскохозяйственных угодий.

В БГСХА с 2019 г. ведутся исследования по оценке возможности использования данных сверхвысокого разрешения, получаемых

с БПЛА, для прогноза продуктивности кормовых культур. В частности, установлено, что сведения, собранные по результатам съемки с квадрокоптера Phantom-4ProV 2.0 в режиме RGB, пригодны для экспресс-оценки продуктивности биомассы силфики пронзеннолистной и кукурузы (коэффициент корреляции между фактическим и прогнозным значениями продуктивности составил 0,98 и 0,95 соответственно) с ошибкой, не превышающей 2–5%, без выполнения наземных измерений (рис. 5).

Вегетационные индексы RGBVI, VARI, GLI и NGRDI, определяемые по результатам съемки с БПЛА, выполняемой в RGB-режиме без использования дорогостоящей мультиспектральной камеры, также могут успешно применяться для мониторинга и оценки продуктивности биомассы силфики пронзеннолистной, кукурузы и других кормовых культур, в частности *Helianthus annuus* и *Helianthus tuberosus* (рис. 6).

Специалисты БГСХА в 2020 г. разработали локальную базу геопространственных данных о содержании в почвах пахотных земель основных макро- и микроэлементов, гумуса, pH почвенного раствора и создали актуальные цифровые карты пространственного распре-

деления агрохимических и физико-химических показателей для территории землепользования РПУП «Устье» НАН Беларуси (Оршанский р-н Витебской обл.) (рис. 7).

Следует отметить, что цифровизация – новый тренд в мировом сельском хозяйстве, а скорость и эффективность внедрения данных технологий в аграрную практику зависят от уровня инвестиций в отрасль: по прогнозным оценкам, к 2050 г. общая стоимость рынка цифровых услуг в мировой агросфере возрастет до 240 млрд долл. [19, 20]. Главное препятствие на пути к внедрению точного земледелия в странах Европы и США – нехватка денежных средств и традиционное желание избежать ненужных рисков. Проблемами инновационного развития для Беларуси все еще остаются низкий уровень внедрения научных разработок, неоперативное доведение их результатов до производителей сельскохозяйственной продукции, невосребованность инноваций из-за недостаточной технологической оснащенности аграрного сектора, отсутствие единой национальной пространственной облачной геоплатформы больших данных (Big Data), используемой для точного земледелия. ■

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. World Population Prospects 2019 United Nations. Department of Economic and Social Affairs // <https://population.un.org/wpp/>.
2. EU agricultural outlook for markets and income, 2018–2030 / European Commission. DG Agriculture and Rural Development. – Brussels, 2018.
3. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь – Минск, 2020.
4. Arsenaute C. Only 60 years of farming left if soil // Scientific American // <https://www.scientificamerican.com/article/only-60-years-of-farming-left-if-soil-degradation-continues/>.
5. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) / R. Scholes, L. Montanarella, A. Brainich [et al.]. IPBES secretariat. – Bonn, 2018.
6. Agricultural Outlook 2020–2029. FAO, Rome. OECD Publishing. – Paris, 2020.
7. Мыслыва Т.Н. Внедрение точного земледелия в Республике Беларусь в контексте национальных отношений: проблемы и перспективы / Т.Н. Мыслыва, О.А. Куцаева // Вестник БГСХА. 2020. №4. С. 154–163.

Полный список использованных источников размещен

 [http://innosfera.by/2021/03/precision\\_technology](http://innosfera.by/2021/03/precision_technology)