

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 004.9:633/635(476)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-2-120-132>

Поступила в редакцию 15.03.2022
Received 15.03.2022

**С. Л. Кравцов¹, И. Г. Волчкевич², Н. А. Крупенько², В. И. Халаева²,
Д. В. Голубцов¹, К. А. Романович¹**

¹*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

²*Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси, Прилуки, Республика Беларусь*

**ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ
РАСТЕНИЕВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Цифровизация, или цифровая трансформация, является инновационным подходом решения ключевой задачи сельскохозяйственного производства Республики Беларусь – повышения/поддержания рентабельности растениеводства. Цифровизация позволяет вывести растениеводство на новый уровень развития, обеспечивая фундаментальную перестройку принятия управленческих решений и выполнения агротехнологических операций, снижая риски и расширяя возможности ведения устойчивого и эффективного растениеводства. Рассмотрена эффективность цифровизации растениеводства применительно к отдельным аспектам среднестатистической сельхозорганизации Республики Беларусь. Выделены следующие основные взаимосвязанные направления цифровизации растениеводства: почвенно-агрохимический анализ, точное земледелие, прогнозирование болезней и вредителей сельхозкультур. В связи со значительным ростом в настоящее время цен на энергоресурсы (базовые элементы формирования конечной стоимости продукции растениеводства) эффективность цифровизации оценивалась не в стоимостном выражении, а в снижении издержек на выращивание продукции растениеводства и в сохраненном урожае. По результатам оценки наибольший эффект ожидается от таких направлений цифровизации, как почвенно-агрохимический анализ, а также прогнозирование болезней и вредителей сельхозкультур. Результаты почвенно-агрохимического анализа могут быть использованы при повышении плодородия почв – необходимом условии увеличения урожайности сельхозкультур в долгосрочной перспективе. Прогнозирование болезней и вредителей сельхозкультур является одним из основных элементов их комплексной защиты – большим резервом увеличения продукции растениеводства. Вместе с тем, несмотря на перспективность цифровизации сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь, она является достаточно трудоемким процессом в совокупности с высокой стоимостью необходимого оборудования и программного обеспечения, а также сложностью их использования.

Ключевые слова: цифровизация, эффективность, рентабельность, оптимизация, растениеводство, поддержка принятия решений, защита растений, почвенно-агрохимический анализ, точное земледелие, болезни и вредители

Для цитирования: Отдельные аспекты эффективности цифровизации растениеводства в сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь / С. Л. Кравцов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 2. – С. 120–132. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-2-120-132>

**Siarhei L. Krautsov¹, Irina G. Volchkevich², Natalia A. Krupenko², Valentina I. Khalaeva²,
Dzmitry V. Golubtsov¹, Karina A. Romanovich¹**

¹*United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus, Priluki, Republic of Belarus*

**CERTAIN ASPECTS OF EFFICIENCY OF CROP PRODUCTION DIGITALIZATION
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. Digitalization, or digital transformation, is an innovative approach to solving the key task of agricultural production in the Republic of Belarus – increasing / maintaining the profitability of crop production. Digitalization makes it possible to bring crop production to a new level of development, providing a fundamental restructuring of the decision-making and implementation of agro-technological operations, reducing risks and expanding possibilities of sustainable and efficient

crop production. Efficiency of digitalization of crop production is considered in relation to certain aspects of an average agricultural organization in the Republic of Belarus. The following main interrelated areas of digitalization in crop production have been identified: soil-and-agrochemical analysis, precision arable farming, prediction of the diseases and pests of crops. Due to significant growth of energy prices nowadays (basic elements in the formation of the final cost of crop production), efficiency of digitalization was assessed not directly in terms of value, but in reducing the costs of growing products and in saved crops. The greatest effect, according to the results of the assessment, is expected from such areas of digitalization as soil-and-agrochemical analysis, as well as prediction of the diseases and pests of agricultural crops. The results of soil-and-agrochemical analysis can be used to improve the soil fertility – a vital condition for long-term increase of crop yields. Prediction of the diseases and pests of crops is one of the main elements of comprehensive protection of crops – a large reserve for increasing crop production. At the same time, despite the positive aspect of digitalization in agricultural branch of the Republic of Belarus, it is rather a labor-intensive process together with the high cost of necessary equipment and software, as well as the use complexity.

Keywords: digitalization, efficiency, profitability, optimization, crop production, decision-making support, plant protection, soil-and-agrochemical analysis, precision arable farming, diseases and pests

For citation: Krautsou S. L., Volchkevich I. G., Krupenko N. A., Khalaeva V. I., Golubtsov D. V., Romanovich K. A. Certain aspects of efficiency of crop production digitalization in the Republic of Belarus. *Vesti Natsyonal'nyay akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 2, pp. 120–132 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-2-120-132>

Введение. Природно-технологические свойства земель (рельеф и контурность полей, энергоёмкость и распаханность земель, виды почв и условия их увлажнения), влияющие на эффективность использования сельхозтехники, затраты труда и себестоимость продукции, а также агроклиматический потенциал сельскохозяйственного производства в Республики Беларусь объективно хуже, чем в таких странах с высокоразвитым сельскохозяйственным производством, как США, Франция и Германия [1]. Кроме того, в традиционном сельском хозяйстве четко выражена высокая зависимость от человеческого фактора – цена неверных решений (а в течение сезона в растениеводстве приходится принимать десятки различных решений) очень высока. В результате в процессе посева, выращивания, ухода за сельхозкультурами может быть потеряно до 40 % урожая; во время сбора урожая, хранения и транспортировки – еще до 40 % [2]. Проблему усугубляет высокий уровень выбытия руководящих работников и специалистов (в 2020 г. в среднем по стране он составил 13,4 %) в совокупности с недостаточной обеспеченностью профильными специалистами (в 2020 г. обеспеченность главными агрономами составила 89 %, агрономами-агрохимиками – 82,2 %).

В результате повышение (или, по крайней мере, поддержание на приемлемом уровне) рентабельности растениеводства является ключевой задачей сельскохозяйственного производства Республики Беларусь в условиях обострения проблемы продовольственной безопасности и импортозамещения. Решение указанной задачи во многом зависит от внедрения инновационных подходов, направленных на более рациональное использование имеющихся ресурсов (трудовых, производственных и др.) с одновременным снижением потерь и расходов. Одним из таких инновационных подходов и является цифровизация, затрагивающая все области сельскохозяйственной деятельности (от страхования и кредитования до коррекции агротехнологических операций) и способная до 2/3 сократить потери традиционного сельского хозяйства.

Цифровизация растениеводства – это внедрение в сельскохозяйственную отрасль современных информационных технологий, которые за счет сбора и анализа оперативной информации, а также учета особенностей почв, сельхозкультур и сортов, рельефа и окружающей среды позволяют вывести растениеводство на новый уровень развития. Речь идет не только и не столько об установке дополнительного оборудования и программного обеспечения, сколько о фундаментальной перестройке всех агротехнологических операций и принятия управленческих решений, снижающей риски и расширяющей возможности ведения устойчивого и эффективного растениеводства.

По оценкам аналитиков инвестиционного банка Goldman Sachs, в 2019 г. общемировые расходы на цифровизацию сельскохозяйственной отрасли составили 5 млрд долл. США. В эту сумму вошли все расходы на любые технологии, адаптируемые к нуждам сельскохозяйственной отрасли: разработки в области искусственного интеллекта, коммуникаций, сенсоров, определения местоположения и автоматического контроля. По прогнозам этих же аналитиков, к 2050 г. рынок вырастет до 240 млрд долл. США. При этом совокупный рост производительности растениеводства

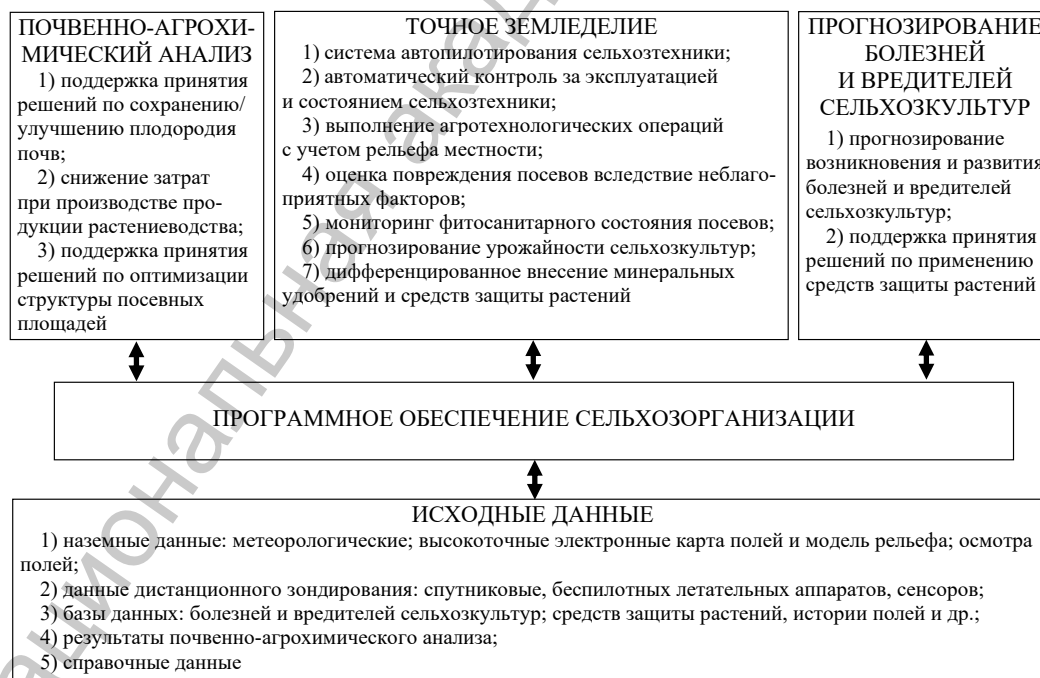
за счет внедрения цифровизации сельскохозяйственной отрасли может вырасти на 70 % и принести дополнительной продукции на 800 млрд долл. США¹ [3].

Среди факторов, способствующих цифровизации растениеводства нашей страны, следует отметить наличие высокоразвитого сельскохозяйственного машиностроения в совокупности с высоким научным потенциалом. Так, в ОАО «Гомсельмаш» производится оснащенный системами автопилотирования и картирования урожайности зерноуборочный комбайн «Палессе» GS2124 [4]. В ОАО «Лидагропроммаш» изготавливается опрыскиватель высококлеренсовый самоходный ОВС 4224 с автопилотированием и дифференцированным внесением препаратов. В ОАО «Минский тракторный завод» производятся оборудованные системой автопилотирования тракторы и совместно с Научно-практическим центром Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства разработана бортовая информационно-управляющая система сельхозтехники, обеспечивающая проведение агротехнологических операций по технологии точного земледелия. В ОАО «ПЕЛЕНГ» создана автоматическая метеорологическая станция. В Институте почвоведения и агрохимии разработаны банк данных агрохимических свойств почв Республики Беларусь и программный комплекс по расчету оптимальных доз минеральных удобрений под планируемую урожайность сельхозкультур. В Объединенном институте проблем информатики Национальной академии наук Беларуси создается программный комплекс прогноза болезней сельхозкультур и поддержки принятия решений по снижению вызываемого ими ущерба.

Цель работы – оценка отдельных аспектов эффективности цифровизации растениеводства применительно к среднестатистической сельхозорганизации Республики Беларусь.

1. Упрощенная структура цифровизации растениеводства. Можно выделить следующие основные взаимосвязанные направления цифровизации растениеводства (рисунок): почвенно-агрохимический анализ, точное земледелие, прогнозирование болезней и вредителей сельхозкультур.

Технологии эволюционировали, подешевели и продвинулись до такого уровня, что стало возможно получать информацию о каждом объекте растениеводства и выполняемой агротехнологической операции. Благодаря объединению информации в единую сеть, возросшей производительности



Упрощенная структура цифровизации растениеводства

Simplified structure of digitalization oin crop production

¹ Создание, развитие и использование технологий цифрового сельского хозяйства в Беларуси: инвестиц. предложение // Нац. агентство инвестиций и приватизации Респ. Беларусь. URL: <https://map.investinbelarus.by/upload/iblock/a86/a86d8310d8b4953d5a0ca2d157b9fac1.pdf> (дата обращения: 03.03.2022).

компьютеров, развитию интеллектуального программного обеспечения и облачных платформ стало возможным принимать оптимальные решения с учетом множества факторов в режиме реального времени, автоматизировать максимальное количество агротехнологических операций, с высокой точностью планировать работы, принимать экстренные меры для предотвращения потерь в случае зафиксированной угрозы, прогнозировать себестоимость продукции и прибыль [3]. При этом чем больше датчиков, сенсоров и контроллеров объединено в единую сеть, тем более интеллектуальной становится информационная система сельхозорганизации и больше полезной информации она способна предоставить.

2. Среднестатистическая сельхозорганизация. По состоянию на 01.01.2021 в Республике Беларусь насчитывалось 1428 сельхозорганизаций.

Растениеводство. Среднестатистическая сельхозорганизация (по данным за 2020 г.) имеет следующую структуру¹:

- общая площадь земель – 5166 га;
- общая посевная площадь – 3784 га, из них: зерновые (рожь, пшеница, тритикале, ячмень и др.) – 1679 га, в том числе: озимые – 957,3 га; зернобобовые – 95,9 га; культуры технические (лен, сахарная свекла, рапс и др.) – 366 га; картофель – 14,6 га; овощи – 3,5 га; культуры кормовые – 1734 га;

- внесение минеральных удобрений под сельхозкультуры (в пересчете на 100 % питательных веществ) – всего 670 т, в том числе: азотных – 302,5 т; фосфорных – 69,7 т; калийных – 297,8 т.

Почвенно-агрохимический анализ. При среднем размере элементарного участка в 10 га [5] стоимость анализа 517 почвенных образцов (при взятии раз в четыре года) составляет около 21 843,25 долл. США (S-5 Complete Routine Plus Boron и тяжелые металлы – 42,25 долл. США на образец, согласно данным лаборатории агрохимического анализа почв WARD, США²); поддержки принятия решений относительно внесения удобрений по 378 ячейкам – 5292 долл. США (14,25 долл. США на ячейку).

При таком методе отбора почвенных образцов и расчета по ним доз внесения минеральных удобрений лишь 13–15 % поля получают необходимое количество питательных элементов [6]: некоторые участки поля получают больше, чем необходимо, другие – меньше. Это приводит к снижению эффективности минеральных удобрений и к увеличению загрязнения окружающей среды. В этой связи рекомендуется отбирать почвенные образцы по клеткам площадью 1 га или меньше [5]. При ежегодном взятии почвенных образцов пахотных земель с сеткой в 1 га (3784 почвенных образца) стоимость анализа составит 52 976 долл. США (S-1 Basic – 14 долл. США на образец); поддержки принятия решений по внесению удобрений – 53 922 долл. США. Всего 106 898 долл. США.

Валовый сбор по видам сельхозкультур составляет: зерновые (рожь, пшеница, тритикале, ячмень и др.) – 5535,7 т; зернобобовые – 251,4 т; картофель – 366,2 т; овощи – 147,1 т.

3. Почвенно-агрохимический анализ. Под плодородием понимают способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности. Это целостное свойство почвы: оно появляется только при взаимодействии ее компонентов.

Даже плодородные почвы со временем истощаются, поэтому повышение урожайности сельхозкультур в долгосрочной перспективе достижимо только при повышении плодородия почвы. В этой связи проблема улучшения плодородия дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь является главной в растениеводстве страны [7].

Для определения изменения плодородия почв с периодичностью один раз в четыре года проводится почвенно-агрохимический анализ почвенных образцов, взятых на всех сельхозугодьях страны, – дашне, землях, занятых многолетними насаждениями, сенокосах, пастбищах и т. д. В результате анализа получают данные о составе грунта и его типе, содержании минеральных веществ (азот, калий, фосфор и др.), уровне pH и других показателях.

¹ Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. Минск: [б. и.], 2021. 179 с.

² Soil analysis packages // Ward Laboratories Inc. URL: <https://www.wardlab.com/wp-content/uploads/2021/03/Soil-price-one-pager-1.pdf> (accessed 03 March 2022).

Результаты почвенно-агрехимического анализа могут быть использованы:

– при *поддержке принятия решений по сохранению/улучшению плодородия почв*. Восстановить плодородие почвы значительно сложнее и дороже, чем сохранить. При сохранении/улучшении плодородия почв важен комплексный подход, основными приемами которого для дерново-подзолистых супесчаных почв Республики Беларусь являются следующие: известкование, щелчевание, оструктурирование, рыхление, травосеяние (высокая плотность), минеральные и органические удобрения, осушительный дренаж, борьба с эрозией, планирование поверхности (микрорельеф), ведение научно обоснованных севооборотов [8];

– *оптимизации затрат при производстве продукции растениеводства*. При текущем уровне плодородия почв в Республике Беларусь около 45 % урожайности сельхозкультур формируется за счет минеральных и органических удобрений [7], на долю которых приходится до 25 % всех расходов в растениеводстве. Ожидаемый эффект от применения результатов почвенно-агрехимического анализа состоит в оптимизации от 15 до 30 % использования ресурсов (при сохранении урожайности и плодородия почв), включая минеральные удобрения, при производстве продукции растениеводства. В результате в среднестатистической сельхозорганизации оптимизация использования минеральных удобрений ежегодно может достигать 100–150 т (от ежегодно вносимых 670 т);

– *поддержке принятия решений по оптимизации структуры посевных площадей*. У каждой сельхозкультуры потребности в микроэлементах свои. Сопоставление содержания микроэлементов на конкретном поле с потребностями сельхозкультур помогает определить, насколько земля плодородна для определенной сельхозкультуры. Научно обоснованный подход к оптимизации структуры посевных площадей сельхозорганизации является гарантией воспроизводства плодородия почвы, улучшения фитосанитарного состояния и в конечном итоге получения высоких урожаев с требуемым качеством. В результате только за счет введения научно обоснованных севооборотов урожайность сельхозкультур может возрасти в 2–3 раза. Кроме того, совершенствование специализации сельхозорганизаций в соответствии с природно-климатическими условиями и уровнем плодородия почв является наиболее целесообразным путем повышения эффективности растениеводства в Республике Беларусь в целом [8].

4. Точное земледелие. Система автопилотирования сельхозтехники. При обычном управлении сельхозтехникой (без навигационных систем – по внешним ориентирам) до 4 % посевов остаются необработанными, а еще 11 % обрабатываются дважды [9]. И если на 11 % площади потери получаются только от перерасхода технологических материалов (семян, удобрений, средств защиты растений и др.), то от необработанных 4 % они могут быть значительно больше. При обработке средствами защиты растений такие «огрехи» могут негативно отразиться на урожайности не только самих необработанных участков, но и всего поля.

Результатами внедрения систем автопилотирования становятся не только более точная обработка полей и повышение урожайности благодаря равномерности посева, внесения удобрений и средств защиты растений, но и снижение себестоимости продукции растениеводства за счет снижения расходов на дополнительный персонал (в частности, устраняется необходимость в сигнальщиках), сокращения расходов технологических материалов, оптимизации маршрутов и режимов вождения [10], а также функционирования агрегатов, увеличения коэффициента загрузки техники (возможности ее использования при любой видимости, в том числе в условиях плохой – слабое освещение, сумерки, пыль, туман – и в темное время суток (уменьшается эффект испарения [9]). Кроме того, система автопилотирования позволяет в течение длительного времени проводить агротехнологические операции (обработка почвы, сев, внесение удобрений и средств защиты растений и др.) на оптимальных скоростях, то есть выполнять их быстрее.

Внедрение систем автопилотирования может увеличить производительность сельхозтехники на 15–20 %; сократить расход топлива до 18 %, посевных материалов до 5 %, средств защиты растений до 8 % [11, 12].

Автоматический контроль за эксплуатацией и состоянием сельхозтехники. Контроль сельхозтехники (с установкой соответствующего GPS/ГЛОНАСС оборудования и программного обеспечения) позволяет в режиме реального времени и с минимальной погрешностью опреде-

лять местоположение, скорость движения, остановки и их длительность, качество выполняемых работ, техническое состояние и правильность эксплуатации.

В зависимости от текущего состояния дел в автопарке внедрение системы автоматического контроля за эксплуатацией и состоянием сельхозтехники обеспечивает:

- снижение затрат на горюче-смазочные материалы до 30 % (оптимизация расхода топлива, исключение хищений топлива до 100 %);
- сокращение затрат на техобслуживание до 20 % (удаленное выявление неисправностей, предотвращение поломок, планирование технического обслуживания по фактическому состоянию);
- повышение эффективности работы сельхозтехники до 40 % (снижение времени простоя до 15 %, до 100 % исключение нецелевого использования, укрепление дисциплины труда);
- соблюдение сроков выполнения работ;
- более эффективное распределение водителей и сельхозтехники по сменам и локациям работ;
- возможность наиболее рационально укомплектовать парк сельхозтехники [12].

Выполнение агротехнологических операций с учетом рельефа местности. Половина сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь расположена на склонах, а общее количество эродированных сельскохозяйственных земель в стране составляет 550 тыс. га [8]. Склон влияет на объем и скорость водотока по поверхности почвы – чем больше склон, тем выше скорость воды. Это значит, что меньше воды инфильтруется в почву и сохраняется там, а риск эрозии и сноса плодородного слоя почвы и агрохимии на прилегающие участки, наоборот, выше. В результате постепенного обеднения почвы на склоновых землях посевы испытывают недостаток питательных веществ, что в долгосрочной перспективе приводит к снижению урожайности. К тому же на склонах происходит более резкое колебание суточных температур, влажности воздуха и почвы, что вызывает стрессы сельхозкультур и, как следствие, снижение их конкурентной силы [13]. Это позволяет сорным растениям, имеющим мощную корневую систему и высокую адаптационную способность, занимать свободные экологические ниши. К тому же на склоновых землях значительно сложнее добиться оптимальной работы почвообрабатывающей сельхозтехники, а именно полного подрезания сорных растений, их уничтожения агротехническими и химическими приемами.

На склоновых землях (по отношению к выровненным) [13] засоренность посевов в 1,3–1,9 раза выше, при этом наибольшая степень засорения посевов отмечается в нижней части склона; урожайность сельхозкультур на 6–40 % ниже.

Склоновые земли, если их обрабатывать так же, как выровненные, демонстрируют стабильно снижающуюся урожайность. Поэтому на таких землях для предотвращения эрозии (проявляющейся уже при крутизне склона $0,5^\circ$ [5, 8]) выполнение агротехнологических операций (боронование, сев, вспашка, внесение удобрений и др.) необходимо проводить поперек или под небольшим углом ($5-6^\circ$) к направлению склона. С учетом смыва и большей гибели семян (вследствие неблагоприятных условий для прорастания) норма их высева должна быть увеличена на 20–50 % [14]. Минеральные удобрения на склоновых землях лучше вносить дробно: первый раз – до посева, второй раз – через 35–40 дней. На слабоэродированных почвах дозы азотных удобрений увеличивают на 0–20 %, на среднеэродированных почвах – на 30–50 %, на сильноэродированных почвах – на 50–100 %. Дозы фосфорных и калийных удобрений на слабоэродированных почвах увеличивают на 20–30 %, на средне- и сильноэродированных почвах – на 30–60 % [15]. На склоновых землях предпочтительно сеять ячмень и овес, поскольку потери урожая этих сельхозкультур значительно ниже, чем у пшеницы, картофеля, овощей [13]. При невозможности сделать это посевы следует размещать на склонах южной экспозиции, урожайность пшеницы на них в среднем на 12–16 %, а ячменя на 1–12 % выше, чем на склонах восточной и северной экспозиции.

Современная сельхозтехника позволяет значительно улучшить обработку склоновых земель за счет автоматического регулирования (по данным высокоточной модели рельефа местности) плотности и глубины посева, дозы внесения минеральных удобрений и др. В результате для среднестатистической сельхозорганизации из 1679 га склоновые земли составляют 840 га, выполнение агротехнологических операций с учетом рельефа местности позволит сохранить до 15 % урожая зерновых – всего около 415 т.

Оценка повреждения сельхозкультур вследствие неблагоприятных факторов заключается в определении объема ущерба и пространственного распределения повреждения посевов. В Республике Беларусь ежегодно на площади 20–30 % всех посевных площадей отмечается повреждение (полеглость) сельхозкультур. Результаты оценки повреждения сельхозкультур могут быть использованы:

– при определении размера страховых выплат, оценке необходимого объема семян и топлива на уплотнение и пересев погибших посевов. В Республике Беларусь гибель сельхозкультур только лишь вследствие весенних заморозков составляет в среднем 8–13 % от общей площади посева. Анализ данных беспилотных летательных аппаратов позволяет на 10 % повысить точность оценки повреждения сельхозкультур при наступлении страхового случая [16]. Благодаря использованию данных беспилотных летательных аппаратов (в совокупности с результатами наземного обследования) можно ускорить процесс, снизить стоимость и повысить объективность оценки размера ущерба и, соответственно, страховых выплат. В среднестатистической сельхозорганизации в среднем из 957,3 га озимых зерновых культур ожидается гибель посевов на 80–120 га – повышение точности оценки площади гибели посевов составит 8–12 га;

– коррекции технологии уборки сельхозкультур. Уборка полеглых посевов должна проводиться в первую очередь, чтобы избежать снижения качества зерна и его прорастания на корню. При этом уборка полеглых посевов существующими мотовилами приводит к значительным потерям урожая (до 25–30 %) вследствие неудовлетворительного подъема полегших стеблей, подсеки колосьев, частого забивания режущего аппарата. Использование приспособлений (или применение двухфазного способа) при уборке полеглых посевов позволяет снизить потери при уборке с 25 % и более до 2 % и ниже. Кроме того, при уборке полеглых посевов снижается производительность уборочной техники за счет вынужденного понижения скоростного режима, которое зависит от степени и характера полегания. Для повышения дневной выработки умеренно-полеглые участки убирают в сухое время дня – с 11 до 17 ч [17];

– коррекции технологии выращивания сельхозкультур. Для предотвращения полегания зерновых культур проводят обработку ретардантами. У обработанных ими зерновых культур укорачивается и утолщается стебель, что обуславливает усиление механических свойств его тканей, при этом их корневая система становится более развитой. Это повышает устойчивость растений к полеганию и воздействию негативных факторов окружающей среды – сильных ветров, дождей и др. Своевременное внесение ретардантов позволяет сохранить до 2–3 ц/га. Ежегодно они применяются не менее чем на 50 % посевных площадей зерновых культур. В среднестатистической сельхозорганизации из 1679 га зерновых культур внесение ретардантов ожидается на площади около 839,5 га, что будет способствовать сохранению 160–250 т зерна.

Мониторинг фитосанитарного состояния сельхозкультур дополняет прогнозирование болезней и вредителей сельхозкультур и заключается в выявлении очагов пораженности посевов и наблюдении за динамикой их развития. Результаты мониторинга фитосанитарного состояния могут быть использованы:

– при коррекции применения средств защиты растений против сорных растений. Природно-климатические условия Республики Беларусь благоприятны для распространения и развития более 300 видов сорных растений, потенциальные потери урожая только от 40 наиболее вредоносных из них могут составлять 63–81 % льносоломы, 72–85 % льносемян, 83–90 % зеленой массы и зерна кукурузы, 94–99 % корнеплодов сахарной свеклы, 41–92 % картофеля, 30–50 % урожая зерновых культур, зернобобовых, рапса [18]. Сохранению высокой засоренности способствуют насыщение севооборота зерновыми культурами, возделывание многолетних трав свыше трех лет, систематическое нарушение сроков зяблевой вспашки, узкий спектр применяемых гербицидов и др. В результате в Республике Беларусь борьба с сорными растениями является одной из главных проблем в защите сельхозкультур, без успешного решения которой бессмысленно проводить все остальные мероприятия по повышению плодородия почвы и урожайности сельхозкультур. Поддержание засоренности полей в пределах допустимых норм позволяет повысить урожайность возделываемых сельхозкультур на 20–25 %. В среднестатистической сельхозорганизации

при средней урожайности 30 ц/га ожидается сохранение 6,5 ц на каждом из 1679 га зерновых культур – всего около 1090 т зерна;

– *коррекции применения средств защиты растений против болезней и вредителей* (см. раздел 5).

Прогнозирование урожайности сельхозкультур заключается в поэтапном, до наступления уборки урожая, прогнозировании урожайности сельхозкультур. Территория Республики Беларусь расположена в зоне рискованного земледелия, поэтому погодные условия существенно влияют на урожайность зерновых культур, и валовые сборы в благоприятные годы (в 2012 г. – 9226 тыс. т, в 2014 г. – 9564 тыс. т, по данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь) могут существенно превышать сборы в неблагоприятные годы (в 2005 г. – 6421 тыс. т, в 2006 г. – 5923 тыс. т). Заблаговременный прогноз урожайности сельхозкультур может быть использован:

– *при определении дозы внесения минеральных удобрений в период вегетации* (см. «Дифференцированное внесение минеральных удобрений и средств защиты растений»);

– *подготовке необходимых мощностей для хранения урожая*. В благоприятные годы, когда урожайность сельхозкультур находится на пике, а также в период уборки сельхозорганизации сталкиваются с проблемой значительного снижения цен. Поэтому с коммерческой точки зрения целесообразно обеспечить длительное хранение зерна, которое позволяет отказаться от его реализации в период снижения цен [19]. Все сельхозорганизации Республики Беларусь имеют зернохранилища различного типа, рассчитанные на хранение не менее 80 % объемов среднегодового валового сбора. Из-за отсутствия свободных мощностей для хранения зерно зачастую приходится размещать в непригодных складах. При таком хранении не только неизбежны потери количества, но и качества собранного зерна – возникает вопрос о его безопасном использовании для продовольственных и фуражных нужд. В среднем при хранении запасов зерна на базе сельхозорганизации потери составляют около 15 % (300–350 т в среднестатистической сельхозорганизации). Правильная организация хранения зерна на основе прогноза урожайности позволяет сохранить его качество и свести к минимуму потери. Также это повышает ликвидность и стоимость зерна на 10–20 %;

– *организации сушки зерна*. Сушка зерна ускоряет процесс его послеуборочного дозревания, обеспечивает стойкость при хранении, улучшает технологические и посевные качества. Для хранения сроком на 6 месяцев пшеница должна иметь влажность 14 %, а сроком на год – 13 % [19]. Несмотря на то что при полной спелости зерна его влажность в сухую погоду снижается до 14 %, зерновые рекомендуется убирать в середине восковой спелости, так как в фазе полной спелости будут иметь место значительно большие потери; кроме осыпания зерно в этой фазе еще и наиболее чувствительно к влаге (легко поглощает и выделяет влагу, приобретая наибольшую гигроскопичность). В совокупности с неблагоприятными погодными условиями влажность зерна при уборке может достигать 40 %. По оценкам, дефицит зерноочистительно-сушильных мощностей в Республике Беларусь составляет около 30 %. При недостаточной мощности и неправильной организации функционирования зерносушилка может не справиться с потоком зерна. В результате свежесобранное зерно размещают в открытых условиях – на площадках в специальной таре или насыпью в виде буртов для временного хранения. Такая форма хранения зерна непрактична из-за влияния на него внешней среды, что значительно сокращает время хранения таких партий. При неблагоприятных погодных условиях сельхозорганизации могут терять 25–40 % собранного урожая (около 1300–2200 т зерна в среднестатистической сельхозорганизации). Причем до 74 % из указанных потерь приходится на обработку и хранение зерна. Количественные потери сопровождаются снижением качества, посевных и продовольственных свойств зерна;

– *оценке кредитоспособности сельхозорганизации*. В последнее время сельскохозяйственная отрасль становится одним из приоритетных направлений для кредитования. Ведь продукция этой отрасли привязана к валюте, а сама она постепенно приобретает статус все менее рискованной. Урожайность сельхозкультур используется как одна из составляющих комплексной оценки кредитоспособности сельхозорганизации при выдаче кредита.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений и средств защиты растений.

Традиционное равномерное внесение минеральных удобрений и средств защиты растений в настоящее время считается недостаточно эффективным, поскольку не учитывает локальных особенностей почвы и растений сельхозкультур. Дифференцированное внесение минеральных удобрений и средств защиты растений позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду, увеличить рентабельность, повысить урожайность и получить более экологически безопасные продукты растениеводства.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений в период вегетации (при подкормке).

Традиционное внесение минеральных удобрений базируется на расчете их потребности, основанном на учете планируемой урожайности, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, предшественников, результатов почвенно-агрохимического анализа [20]. В инновационном подходе точного земледелия ключ к повышению эффективности заключается в достижении лучшего соответствия между дозой внесения минеральных удобрений и потребностью в них сельхозкультур на конкретном поле на момент внесения в период вегетации [21]. Указанное соответствие достигается учетом (посредством анализа тестовых площадок с разной дозой припосевного внесения минеральных удобрений) ожидаемой урожайности, обусловленной в том числе и реальными погодными условиями от посева до момента внесения минеральных удобрений. Обеспечиваемое подходом пространственное разрешение (учет пространственной изменчивости) может достигать при использовании сенсора GreenSeeker RT500 с высоты 45 см 0,000036 га ($0,6 \times 0,6$ м), тогда как при агрохимическом обследовании почвенные образцы рекомендуется отбирать по клеткам площадью 1 га (100×100 м) или менее, а в среднем по стране она составляет 10 га ($\approx 316,2 \times 316,2$ м). Данный подход позволяет экономить (при сохранении урожайности) до 15 % [22] от объема вносимых в период вегетации минеральных удобрений (при подкормке вносится 20–30 % минеральных удобрений от общего объема). В результате в среднестатистической сельхозорганизации оптимизация использования минеральных удобрений ежегодно может составлять 20–30 т (от ежегодно вносимых 670 т).

Дифференцированное внесение средств защиты растений. Обращает на себя внимание следующее: благоприятные погодные условия способствуют быстрому распространению и развитию болезней сельхозкультур. При этом получение исходной информации и составление карт-заданий дифференцированного внесения средств защиты растений требуют определенных затрат времени. Также в настоящее время отсутствуют практические технологии непосредственного сенсорного обнаружения на начальной стадии грибных, бактериальных и вирусных болезней сельхозкультур. В этом случае дифференцированное применение средств защиты растений представляет собой нанесение одинаковой их концентрации на единицу плотности растений сельхозкультур: на участках поля с редким стеблестоем и слабо развитыми посевами требуется меньший расход рабочей жидкости, чем на более развитых и густых посевах [23]. В целом экономия средств защиты растений при их дифференцированном внесении составляет до 20 %.

5. Прогнозирование (возникновения, развития и вредоносности) болезней и вредителей сельхозкультур. Большим резервом увеличения продукции растениеводства является правильная, своевременно и хорошо организованная защита сельхозкультур от болезней и вредителей, которые наносят громадный ущерб урожаю. Потери урожая сельхозкультур от вредителей и болезней при отсутствии эффективной защиты могут достигать 25–40 %, по отдельным культурам – до 90 % [24]. Прогнозирование болезней и вредителей – один из основных элементов комплексной защиты сельхозкультур [25]. Оно является основой для определения потребности в средствах защиты растений и рациональной организации защиты сельхозкультур в сельхозорганизациях.

Результаты прогнозирования болезней и вредителей используются:

– при *коррекции применения средств защиты растений против болезней и вредителей.* В Республике Беларусь снижение разнообразия возделываемых сельхозкультур привело к повсеместному распространению болезней, особенно в агроценозах зерновых культур. Природно-климатические условия страны благоприятны для распространения и развития более 65 опасных видов вредителей и 100 видов болезней [18]. В результате потери урожая зерновых культур от болезней могут достигать 30 %, в годы эпифитотий – 50 %. На некоторых сельхозкультурах потери урожая

от вредных организмов могут достигать 100 %, а в случае получения урожая его качество будет неудовлетворительным для использования. В современных условиях получение урожая многих сельхозкультур без применения средств защиты растений не представляется возможным. Своевременное проведение защитных мероприятий обеспечивает сохранение от 5 до 12 ц/га урожая зерна, от 40 до 150 ц/га картофеля, корнеплодов, плодов и овощей, 2,5 ц/га льноволокна [24]. В среднестатистической сельхозорганизации в среднем при урожайности 30 ц/га ожидается сохранение 7 ц на каждом из 1679 га зерновых культур – всего около 1170 т;

– *поддержке принятия решений по применению средств защиты растений*. При решении задачи поддержки принятия решений по снижению вызываемого болезнями сельхозкультур ущерба учитываются: болезнестойчивость сорта, фенологическая фаза развития растений, фитосанитарная ситуация в поле, погодные условия, свойства средств защиты растений (мобильность в растении, устойчивость к осадкам и др.), предыдущие обработки средствами защиты растений, антирезистентные стратегии, санитарные ограничения и т. д. В случае необходимости проведения защитных обработок рекомендуются к использованию только те препараты, которые включены в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, эффективны в настоящий момент и не приведут к формированию резистентности патогена.

Заключение. Влияние цифровизации на развитие сельскохозяйственной отрасли настолько велико, что ее часто именуют четвертой промышленной революцией. В результате благодаря цифровизации ожидается рост производительности растениеводства такого масштаба, какого человечество не видело даже во времена появления тракторов, изобретения гербицидов и генетически измененных семян [26]. Цифровизация за счет сбора и анализа оперативной информации, а также учета особенностей почв, сельхозкультур и сортов, рельефа и окружающей среды позволяет вывести растениеводство на новый уровень развития. Экономическая эффективность цифровизации заключается в снижении издержек на выращивание продукции растениеводства (уменьшении затрат на семена, средства защиты растений, удобрения), повышении урожайности и качества производимой продукции. Экологическая эффективность цифровизации заключается в предотвращении водной и почвенной эрозии, деградации почв, уменьшении загрязнения окружающей среды удобрениями и средствами защиты растений. Социальная эффективность цифровизации выражается в выращивании экологически чистой, безопасной для человека продукции. На реальные результаты окажут влияние принятые в сельхозорганизации технологии возделывания сельхозкультур, их свойства и сорта, плодородие почв, погодные условия и многое другое.

Список использованных источников

1. Седнев, Е. В. Некоторые аспекты организационно-экономического механизма ресурсосбережения / Е. В. Седнев // Современные технологии сельскохозяйственного производства: сб. науч. ст. по материалам XXI Междунар. науч.-практ. конф. (Гродно, 11 мая, 4 мая, 18 мая 2018 г.). Экономика. Бухгалтерский учет. Общественные науки / Гродн. гос. аграр. ун-т. – Гродно, 2018. – С. 103–105.
2. Кулиш, Н. В. Развитие учетно-информационного обеспечения бизнес-процессов в сельском хозяйстве в условиях применения цифровых инноваций / Н. В. Кулиш // Вестн. Ин-та Дружбы народов Кавказа. «Теория экономики и упр. нар. хоз-вом». Экон. науки. – 2018. – № 4 (48), ч. 2. – С. 113–120.
3. Липатова, Н. Н. Особенности и перспективы цифровой экономики на российском рынке / Н. Н. Липатова, А. В. Есипов // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики: сб. науч. тр. I Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию со дня образования экон. фак., 25–26 апр. 2019 г. / Самар. гос. аграр. ун-т. – Киннель, 2019. – С. 72–75.
4. Непарко, Т. А. Инновации в аграрном образовании / Т. А. Непарко, Д. А. Жданко // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжнарод. наук.-практ. інтернет-конф., Мелітополь, 1–26 листоп. 2021 р. / Тавр. держ. агротехнол. ун-т [та ін.] – Мелітополь, 2021. – С. 649–653.
5. Клебанович, Н. В. Химическая мелиорация почв: учеб.-метод. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2019. – 175 с.
6. Личман, Г. И. Отбор почвенных проб и их анализ в точном земледелии / Г. И. Личман, А. И. Беленков // Нивы Зауралья. – 2015. – № 2 (124). – С. 62–63.
7. Лапа, В. В. Продуктивность севооборотов и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 1 (50). – С. 133–145.

8. Клебанович, Н. В. Почвы Беларуси и их плодородие: учеб. пособие / Н. В. Клебанович. – Минск: БГУ, 2017. – 175 с.
9. Вершинин, С. В. Различные аспекты использования автоматизированных систем управления при производстве строительных работ и в составе комплекса точного земледелия / С. В. Вершинин // Вестн. стр-ва и архитектуры: сб. тр. конф. / Орл. гос. аграр. ун-т. – Орел, 2018. – Вып. 7. – С. 78–89.
10. Соловьев, Д. А. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева, Р. Н. Бахтиев // Аграр. науч. журн. – 2019. – № 11. – С. 95–98. <https://doi.org/10.28983/asjy2019i11pp95-98>
11. Магомедов, Р. Н. Модели трансформации отраслевых производственных функций российской экономики и их применение на новом этапе промышленной политики / Р. Н. Магомедов, Ю. Ю. Пономарев. – М.: РАНХиГС, 2019. – 88 с.
12. Отечественный агромонитор для контроля работ сельскохозяйственной техники / Е. Э. Головинов [и др.] // Природообустройство. – 2016. – № 1. – С. 52–57.
13. Абдулвалеев, Р. Р. Засорённость посевов и урожайность зерновых культур на склоновых участках / Р. Р. Абдулвалеев, В. Б. Троц // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2015. – № 3 (53). – С. 56–58.
14. Дифференцированный высеv семян и внесение удобрений на холмистом рельефе / С. О. Нукешев [и др.] // Актуальные проблемы формирования кадрового потенциала для инновационного развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 5–7 июня 2013 г.) / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т, Ин-т повышения квалификации и переподгот. кадров агропром. комплекса, Белорус. респ. фонд фундам. исслед.; ред.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск, 2013. – С. 333–335.
15. Рекомендации по интегрированному применению минеральных удобрений в системах земледелия с учетом региональных особенностей производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации / Всерос. науч.-исслед. ин-т агрохимии. – М.: [б. и.], 2019. – 174 с.
16. «Нам сверху видно все»: отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире [Электронный ресурс] // PwC. – Режим доступа: <https://www.pwc.com/kz/en/services/drones-technologies/clarity-from-above-rus.pdf>. – Дата доступа: 03.03.2022.
17. Яковчик, С. Г. Рекомендации по подготовке техники и уборке урожая в 2017 году [Электронный ресурс] / С. Г. Яковчик, В. В. Чумаков, И. В. Барановский. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/arekomendacii/meh/2017/gesom2017-uborka.pdf>. – Дата доступа: 03.03.2022.
18. Сорока, С. В. Фитосанитарное состояние посевов в Беларуси и совершенствование системы защиты / С. В. Сорока, Е. А. Якимович // Образование, наука и пр-во. – 2014. – № 2 (7). – С. 68–72.
19. Дринча, В. Резервы снижения потерь зерна при хранении / В. Дринча, Б. Цыдендоржиев // Комбикорма. – 2010. – № 7. – С. 59–60.
20. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учеб.-метод. пособие / И. Р. Вильдфлуш, В. В. Лапа, О. И. Мишура; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2019. – 405 с.
21. Балабанов, В. И. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие: учеб. пособие / В. И. Балабанов, А. И. Беленков, Е. В. Березовский; под общ. ред. В. И. Балабанова. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 117 с.
22. Технология применения агрохимических средств и техника безопасности при работе с ними / А. Х. Шеуджен [и др.]. – Майкоп: Полиграф-ЮГ, 2017. – 54 с.
23. Труфляк, Е. В. Дифференцированные технологии / Е. В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 44 с.
24. Сорока, С. В. Перспективы повышения эффективности защиты растений в Республике Беларусь на 2021–2030 гг. / С. В. Сорока, Е. А. Якимович // Защита растений в условиях перехода к точному земледелию = Plant protection in the transition to precision farming: материалы междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию со дня основания РУП «Институт защиты растений» (аг. Прилуки, 27–29 июля 2021 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Минск, 2021. – С. 7–20.
25. Велибекова, Е. И. Технологические приемы и средства защиты полевых культур от болезней, вредителей и сорняков: (науч. рук.) / Е. И. Велибекова, В. И. Турусов, М. М. Мосолова. – (3-е изд., доп. и перераб.) – Воронеж: Истоки, 2018. – 336 с.
26. Лазеев, В. Пути автоматизации сельского хозяйства / В. Лазеев, А. Сафонов // Control Engineering Россия. – 2018. – № 3 (75). – С. 27–29.

References

1. Sednev E. V. Some aspects of the organizational and economic mechanism of resource saving. *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva: sbornik nauchnykh statei po materialam XXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Grodno, 11 maya, 4 maya, 18 maya 2018 g.)*. *Ekonomika. Bukhgalterskii uchet. Obshchestvennye nauki* [Modern technologies of agricultural production: collection of scientific articles of the XXI International scientific and practical conference (Grodno, May 11, May 4, May 18, 2018)]. *Economy. Accounting. Social Sciences*. Grodno, 2018, pp. 103–105 (in Russian).
2. Kulish N. V. Development of accounting and information support for business processes in agriculture in the context of digital innovations. *Vestnik Instituta Druzhyby narodov Kavkaza. "Teoriya ekonomiki i upravleniya narodnym khozyaistvom"*. *Ekonomicheskie nauki = Bulletin Peoples' Friendship Institute of the Caucasus "The economy and national economy management"* – *Economic sciences*, 2018, no. 4 (48), pt. 2, pp. 113–120 (in Russian).

3. Lipatova N. N., Esipov A. V. Features and prospects of the digital economy in the Russian market. *Razvitie agropromyshlennogo kompleksa v usloviyakh tsifrovoi ekonomiki: sbornik nauchnykh trudov I Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii posvyashchennoi 25-letiyu so dnya obrazovaniya ekonomicheskogo fakul'teta, 25–26 aprelya 2019 g.* [Development of the agro-industrial complex in the digital economy: a collection of scientific papers of the I National scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the founding of the Faculty of Economics, April 25–26, 2019]. Kinnell, 2019, pp. 72–75 (in Russian).
4. Neparko T. A., Zhdanko D. A. Innovations in agricultural education. *Tekhnichne zabezpechennya innovatsiimikh tekhnologii v agropromislovomu kompleksi: materialy III Mizhnarodnoi naukovopraktichnoi internet-konferentsii, Melitopol', 1–26 listopada 2021 r.* [Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the III International scientific and practical internet conference, Melitopol, November 1–26 2021]. Melitopol, 2021, pp. 649–653 (in Russian).
5. Klebanovich N. V. *Chemical melioration of soils*. Minsk, Belarusian State University, 2019. 175 p. (in Russian).
6. Lichman G. I., Belenkov A. I. Soil sampling and their analysis in precision farming. *Nivy Zaural'ya* [Fields of the Trans-Urals], 2015, no. 2 (124), pp. 62–63 (in Russian).
7. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N. Productivity of crop rotations and changes agrochemical properties of loamy sandy soddy-podzolic soil under long-term fertilization. *Pochvovedenie i agrokhimiya* [Soil Science and Agrochemistry], 2013, no. 1 (50), pp. 133–145 (in Russian).
8. Klebanovich N. V. *Soils of Belarus and their fertility*. Minsk, Belarusian State University, 2017. 175 p. (in Russian).
9. Vershinin S. V. Various aspects of the use of automated control systems in the production of construction works and the complex precision farming. *Vestnik stroitel'stva i arkhitektury: sbornik trudov konferentsii* [Bulletin of construction and architecture: collection of conference proceedings]. Orel, 2018, iss. 7, pp. 78–89 (in Russian).
10. Soloviev D. A., Zhuravleva L. A., Bakhtiev R. N. Digital technology in agriculture. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 11, pp. 95–98 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asjy2019i11pp95-98>
11. Magomedov R. N., Ponomarev Yu. Yu. *Models of transformation of sectoral production functions of the Russian economy and their application at the new stage of industrial policy*. Moscow, 2019. 88 p. (in Russian).
12. Golovinov E. E., Aminev D. A., Zakharov A. V., Bakshtanin A. M. Domestic agromonitor for control of agricultural machinery operation. *Prirodobustroistvo* [Environmental Engineering], 2016, no. 1, pp. 52–57 (in Russian).
13. Abdulvaleev R. R., Trots V. B. Weed infestation of fields and grain crops yields on slope lands. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2015, no. 3 (53), pp. 56–58 (in Russian).
14. Nukeshev S. O., Romanyuk N. N., Belykh S. A., Lichman G. I. Differentiated sowing of seeds and application of fertilizers on a hilly terrain. *Aktual'nye problemy formirovaniya kadrovogo potentsiala dlya innovatsionnogo razvitiya APK: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Minsk, 5–7 iyunya 2013 g.)* [Actual problems of the formation of human resources for the innovative development of the agro-industrial complex: materials of the International scientific and practical conference (Minsk, June 5–7, 2013)]. Minsk, 2013, pp. 333–335 (in Russian).
15. Pryanishnikov Institute of Agrochemistry. *Recommendations for the integrated use of mineral fertilizers in farming systems, taking into account regional features of agricultural production in the Russian Federation*. Moscow, 2019. 174 p. (in Russian).
16. Clarity from above. PwC global report on the commercial applications of drone technology. *PWC*. Available at: <https://www.pwc.com/kz/en/services/drones-technologies/clarity-from-above-eng.pdf> (accessed 03 March 2022).
17. Yakovchik S. G., Chumakov V. V., Baranovskii I. V. *Recommendations for the preparation of equipment and harvesting in 2017*. Available at: <https://mshp.gov.by/arekomendacii/meh/2017/recom2017-uborka.pdf> (accessed 03 March 2022) (in Russian).
18. Soroka S. V., Yakimovich E. A. Phytosanitary condition of crops in Belarus and improvement of the protection system. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo* [Education, Science and Production], 2014, no. 2 (7), pp. 68–72 (in Russian).
19. Drincha V., Tsyndendorzhiev B. Reserves for reducing grain losses during storage. *Kombikorma = Compound Feeds*, 2010, no. 7, pp. 59–60 (in Russian).
20. Vil'dflush I. R., Lapa V. V., Mishura O. I. *Agrochemistry. Fertilizers and their application in modern agriculture*. Gorki, Belarusian State Agricultural Academy, 2019. 405 p. (in Russian).
21. Balabanov V. I., Belenkov A. I., Berezovskii E. V. *Navigation technologies in agriculture. Coordinate farming*. Moscow, Publishing house of RGAU-MSHA, 2013. 117 p. (in Russian).
22. Sheudzhen A. Kh., Kizinek S. V., Lebedovskij I. A., Bondareva T. N., Osipov M. A. *Technology of application of agrochemical agents and safety precautions when working with them*. Maikop, Poligraf-YuG Publ., 2017. 54 p. (in Russian).
23. Truflyak E. V. *Differentsirovannye tekhnologii*. Krasnodar, KubGAU, 2016. 44 p. (in Russian).
24. Soroka S. V., Yakimovich E. A. Prospects for increasing the efficiency of plant protection in the Republic of Belarus for 2021–2030. *Zashchita rastenii v usloviyakh perekhoda k tochnomu zemledeliyu: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu so dnya osnovaniya RUP "Institut zashchity rastenii" (ag. Priluki, 27–29 iyulya 2021 g.) = Plant protection in the transition to precision farming: materials of the international scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the founding of RUE "Institute of Plant Protection" (Priluki, July 27–29, 2021)*. Minsk, 2021, pp. 7–20 (in Russian).
25. Velibekova E. I., Turusov V. I., Mosolova M. M. *Technological methods and means of protecting field crops from diseases, pests and weeds*. Voronezh, Istoki Publ., 2018. 336 p. (in Russian).
26. Lazeev V., Safonov A. Ways of automation of agriculture. *Control Engineering Rossiya* [Control Engineering Russia], 2018, no. 3 (75), pp. 27–29 (in Russian).

Информация об авторах

Кравцов Сергей Леонидович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией аэрокосмического мониторинга, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: Krautsou_sl@rambler.ru. <http://orcid.org/0000-0002-1476-9553>

Волчкевич Ирина Георгиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией защиты овощных культур и картофеля, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: onionprotect@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0003-4898-1605>

Крупенько Наталья Александровна – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией фитопатологии, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: krupenko_natalya@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-0015-4945>.

Халаева Валентина Иосифовна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты овощных культур и картофеля, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, аг. Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: v.halaeva@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-1482-6933>

Голубцов Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории аэрокосмического мониторинга, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: demonix2004@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5936-3442>

Романович Карина Александровна – научный сотрудник лаборатории аэрокосмического мониторинга, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: karisha147@gmail.com

Information about the authors

Siarhei L. Krautsou – Ph. D. (Engineering), Head of the Laboratory for Aerospace Monitoring, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova Str., Minsk, 220012, Republic of Belarus). E-mail: Krautsou_sl@rambler.ru. <http://orcid.org/0000-0002-1476-9553>

Irina G. Volchkevich – Ph. D. (Agriculture), Head of the Laboratory for Protection of Vegetable Crops and Potatoes, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira Str., 223011, agro-town Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: onionprotect@yandex.by. <http://orcid.org/0000-0003-4898-1605>

Natalia A. Krupenko – Ph. D. (Biology), Head of the laboratory for Phytopathology, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira Str., 223011, agro-town Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: krupenko_natalya@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-0015-4945>

Valentina I. Khalaeva – Ph. D. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory for Protection of Vegetable Crops and Potatoes, Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira Str., 223011, agro-town Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: v.halaeva@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-1482-6933>

Dmitry V. Golubtsov – Researcher of the Laboratory for Aerospace Monitoring, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: demonix2004@yandex.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5936-3442>

Karina A. Romanovich – Researcher of the Laboratory of Aerospace Monitoring, United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (6, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karisha147@gmail.com.