



БИОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ УСТОЙЧИВЫХ
АГРОЭКОСИСТЕМ

4

БИОГЕННЫЕ
ИММУНО-
СТИМУЛЯТОРЫ

20

ПРИРОДНЫЕ
ЭКОСИСТЕМЫ
ПОД ЗАЩИТОЙ НАУКИ

50

СУЩНОСТЬ
БЕЛОРУССКОЙ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

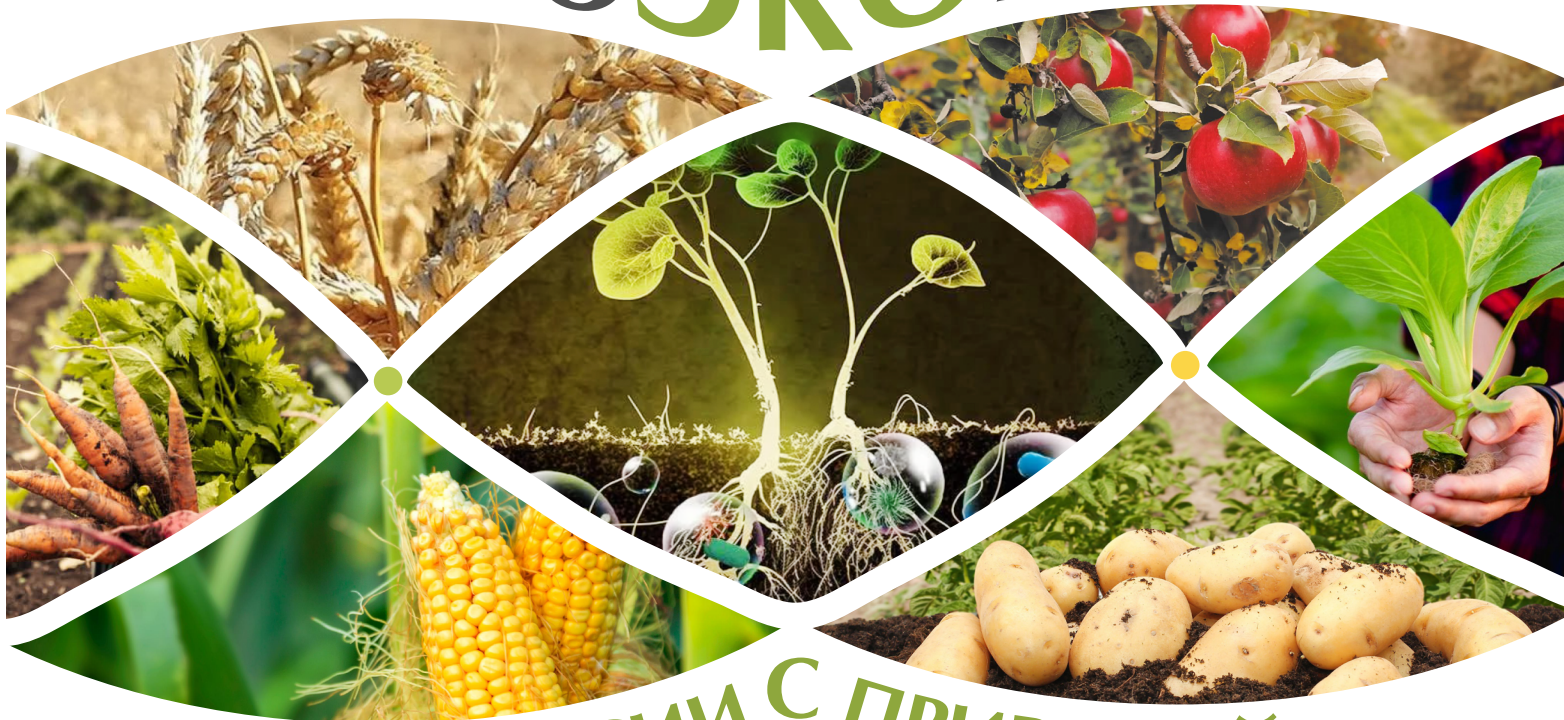
72

Наука и инновации

№9 (271)
СЕНТЯБРЬ 2025

научно-
практический
журнал

АГРОЭКОЛОГИЯ



В СОГЛАСИИ С ПРИРОДОЙ

ISSN 1818-9857



ISSN 2412-9372 (online)

БЕТАПРОТЕКТИН

Биопестицид для защиты сахарной, столовой свеклы, огурца и томата, луковичных и клубнелуковичных цветочных культур, хвойных пород от болезней



ФРУТИН

Биопестицид для защиты плодовых деревьев, клубнелуковичных и луковичных цветочных культур, лиственных и хвойных пород от болезней; стимуляции роста и развития микроклонов осины и березы листьев городских зеленых насаждений, дятлового повреждения хвойных пород



БИОВИР

Комплексный биопрепарат для обеззараживания и очистки воды прудов и водоемов от органических и минеральных загрязнений, профилактики бактериальных болезней рыб



БИОПРОДУКТИН

комплексный микробный препарат для повышения биологической активности почвы, улучшения фитосанитарного состояния посевов зерновых культур и яблоневого сада интенсивного типа, увеличения урожайности



**БОБРУЙСКИЙ ЗАВОД
БИОТЕХНОЛОГИЙ**

Производитель:
РУП «Бобруйский завод биотехнологий»
213800, г. Бобруйск, ул. Чехова, 54
УНН 700068910



Разработчик: Государственное
научно-производственное
объединение «Химический синтез
и биотехнологии»
220084, г. Минск, ул. Акад. Купревича, д. 7.

Приобрести продукцию можно по адресу разработчика:
220084, г. Минск, ул. Акад. Купревича, 7

Тел.: +375-17-397-19-25 (гор.), +375-44-567-19-25 (А1)



Институт микробиологии НАН Беларуси
Республика Беларусь, 220084,
г. Минск, ул. Акад. Купревича, 2
Тел./факс: +375 (17) 395-47-66
Электронная почта: microbio@mbio.bas-net.by
<https://mbio.bas-net.by>



ЦудаМик – препарат микробный для обработки семян и вегетирующих растений сахарной свеклы с целью повышения продуктивности сахарной свеклы.

Применение препарата микробного «ЦудаМик» обеспечивает прибавку урожайности сахарной свеклы при обработке семян перед посевом, внесении в почву перед посевом и при проведении некорневых обработок на фоне снижения дозы минеральных удобрений.

Заказать и приобрести продукцию можно по тел.:

+375 (44) 750-78-90
или по e-mail: inmisale@mail.ru

Наличный и безналичный расчет



ЛАКСИЛ-МС2 – концентрат бактериальный для заготовки высокобелкового бобово-злакового сенажа.

В состав концентрата включены гомо- и гетероферментативные молочнокислые бактерии, утилизирующие широкий спектр углеводов: гексозы, пентозы, олиго- и полисахариды, в том числе основные запасные полисахариды злаковых и бобовых трав (крахмал, полифруктозиды). Продукция способствует улучшению биодоступности, повышению переваримости, увеличению пищевой и энергетической ценности полученного корма.



АЛЬФАЛАКТИМ – многофункциональная кормовая добавка комплексного действия, сочетающая свойства фермента и пробиотика, для применения в составе кормов с высоким содержанием α -галактозидов. Кормовая добавка «Альфалактим» способствует увеличению живой массы молодняка крупного рогатого скота и поросят-отъемышей, снижает затраты корма на 1 кг прироста живой массы.



Зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь, свидетельство о регистрации №388 от 18.05.2009 г.

Учредитель:

Национальная академия наук Беларуси

Редакционный совет:

В.Г. Гусаков – председатель совета	А.Е. Дайнеко А.И. Иванец Н.С. Казак А.В. Кильчевский Э.И. Коломиец С.А. Красный М.В. Мясникович О.Г. Пенязков Ф.П. Привалов С.П. Рубникович О.О. Руммо С.В. Харитончик И.П. Шейко А.Г. Шумилин С.С. Щербаков
П.А. Витязь – зам. председателя	
С.А. Чирик – зам. председателя	
Ж.В. Комарова	
В.Ф. Байнев	
О.Ю. Баранов	
А.И. Белоус	
В.Г. Богдан	
С.В. Гапоненко	
В.Л. Гурский	

Главный редактор:

Жанна Комарова

Ведущие рубрик:

Ирина Емельянович Наталья Минакова	Татьяна Жданович Юлия Василишина
---------------------------------------	-------------------------------------

Дизайн и верстка:

Татьяна Аверкова

Адрес редакции:

220072, г. Минск, ул. Академическая, 1-129.
Тел.: (017) 351-14-46,
e-mail: nii2003@mail.ru,
www.innosfera.belnauka.by

Подписные индексы:

007 532 (ведомственная)
00 753 (индивидуальная)

Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 9,8. Тираж 536 экз.
Цена договорная.
Подписано в печать 17.09.2025.

Издатель: РУП «Издательский дом «Беларуская навука». Свид. о гос. рег. №1/18 от 02.08.2013. г. Минск, ул. Ф. Скорины, 40. Заказ №185.

© «Наука и инновации»

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал обязательна.
За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей.
Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Содержание

ТЕМА НОМЕРА: АГРОЭКОЛОГИЯ

Олег Баранов, Жанна Анисова

Биологические основы формирования устойчивых и продуктивных агроэкосистем 4

Рассмотрен термин «агроэкология» и составляющие его технологии, методы и приемы, необходимые для получения качественной сельскохозяйственной продукции, призванные оценивать антропогенные факторы, оказывающие техногенное воздействие на экосистему, включая применение химических и биологических удобрений и средств защиты, мелиорацию почв, заготовку кормов, выпас скота и пр.

Жанна Калацкая, Нинель Еловская, Марина Мандрик-Литвинкович, Ксения Гилевская, Игорь Овчинников, Екатерина Рыбинская

Инновации в агроэкологии: как Беларусь адаптируется к вызовам современности 8

Представлена одна из наиболее эффективных стратегий сохранения и повышения плодородия почв, связанная с разработкой технологий комплексных экологически безопасных биопрепаратов и биоудобрений, включающих бактерии, стимулирующие рост растений, и модифицированные природные соединения (полисахариды или вторичные метаболиты растений), а также природные минералы.

Александр Кильчевский, Игорь Гордей, Валентина Лемеш, Марина Синяевская

Современная селекция растений: ускорение получения улучшенных сортов 13

Авторы раскрывают инновационные подходы к созданию новых сортов и гибридов хозяйственно полезных культур, при которых традиционные методы гибридизации и отбора, отработанные десятилетиями, дополняются и совершенствуются благодаря достижениям молекулярной биологии, биоинформатики и геномного редактирования.

Людмила Кабашникова

Биогенные иммуностимуляторы – новое поколение средств защиты растений 20

Изложены современные стратегии повышения защитного потенциала растений от комплекса неблагоприятных факторов внешней среды. Рассмотрены основные механизмы прайминга защитных реакций. Приведены примеры использования иммуностимуляторов природного происхождения.

Александр Шепшелев, Елена Болотник, Зинаида Алещенкова

Микробные биотехнологии в сельскохозяйственном производстве 26

Показаны экологические, экономические и технологические преимущества микробных биотехнологий и их применение в аграрной отрасли. Представлены наиболее значимые разработки Института микробиологии НАН Беларуси.

Марина Мандрик-Литвинкович, Эмилия Коломиец

Инновации в решении проблемы стабилизации фитосанитарного состояния агроэкосистем 32

Представлена экологически безопасная и экономически рациональная стратегия, связанная с выявлением и восстановлением нарушенных микробиоценозов почв городского и сельскохозяйственного назначения с целью сохранения ландшафтов и повышения продуктивности культур.

Оксана Урбанович, Анастасия Шишлова-Соколовская

Генетическое редактирование генома с помощью системы CRISPR/Cas 35

Рассмотрена технология CRISPR/Cas, меняющая традиционный подход к селекции и позволяющая влиять на важнейшие характеристики растений, включая повышение фотосинтеза, устойчивость к болезням и эффективность использования питательных веществ.

Федор Привалов, Николай Павловский

Диверсификационный потенциал голубики в Беларуси 38

Обоснована целесообразность широкого внедрения голубики в практику промышленного и приусадебного садоводства, что будет способствовать диверсификации отрасли, увеличению объемов производства свежих плодов и расширению экспортных поставок востребованной на рынке продукции.

Олег Синчук, Александр Колбас, Дмитрий Войтка, Ирина Феклистова, Надежда Архипова

Фитосанитарный анализ садовых агроэкосистем Брестского региона 43

Показаны результаты комплексного фитосанитарного анализа 4 садовых агроэкосистем Брестского региона. Определен комплекс естественных энтомофагов, которые могут рассматриваться в качестве агентов биологической защиты. Исследована эффективность биологических препаратов в ограничении распространенности болезней, улучшении состояния почв.

ОТКРЫТЫЕ ДВЕРИ

Ирина Атрошко

Природные экосистемы под защитой науки 50

В подборке материалов, подготовленных к 25-летию научного учреждения «Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси» представлены наиболее яркие достижения ученых по различным направлениям, в том числе методики в области определения качественных и количественных показателей питьевых, поверхностных и сточных вод, исследований почвы и грунтов, кормов сельскохозяйственных животных, а также испытаний средств защиты растений и удобрений.

БЕЛОРУССКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Владимир Гусаков

Сущность и характерные черты белорусской экономической модели и белорусской экономической школы 72

Автор рассматривает белорусскую социально-экономическую модель и роль белорусской экономической школы в формировании широкого представления результативности отечественной экономики.

ДИССЕРТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Алексей Шляхтун, Диана Станиславчик, Галина Хованская, Вячеслав Полубок, Дмитрий Пицко, Людмила Елсеева, Елена Радута

Влияние йогурта с бетулином на метаболические показатели пациентов с сахарным диабетом 2-го типа 77

Представлены результаты исследования влияния йогурта «DiViTa» с бетулином и пробиотическими культурами на метаболические показатели у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. Показано, что употребление данного продукта способствовало снижению уровня глюкозы и фруктозамина, нормализации липидного обмена и уменьшению концентрации провоспалительного маркера ФНО-α.

Дорогие наши читатели, коллеги, друзья!

Научно-практический журнал «Наука и инновации» приглашает вас к сотрудничеству! Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке eLibrary. Научным публикациям присваиваются номера DOI. Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь журнал «Наука и инновации» включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по биологическим, медицинским, а также экономическим наукам (вопросы инновационного развития).

Чтобы опубликовать статью, необходимо направить ее на электронный адрес редакции: nii2003@mail.ru.

Правила публикации – на нашем сайте <https://innosfera.belnauka.by>, в разделе «О журнале» – «Прием статей».



СТР. 13



СТР. 43



СТР. 50



СТР. 66

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ формирования устойчивых и продуктивных агроэкосистем

Термин «агроэкология» в научной литературе впервые появился в XX в. По мнению большинства ученых, он неотъемлемо связан с работами американского эколога Джорджа Э. Бухнаса, обозначившего новое научное направление, сформированное на стыке экологии и сельского хозяйства, изучающее взаимосвязи между аграрными системами и окружающей средой. Согласно современной формулировке, агроэкология представляет собой раздел экологии, нацеленный на создание технологий, методов и приемов, необходимых для получения качественной сельскохозяйственной продукции в условиях индустриального хозяйства, призванный оценивать антропогенные факторы, оказывающие техногенное воздействие на экосистему, включая применение химических и биологических удобрений и средств защиты, мелиорацию почв, заготовку кормов, выпас скота и пр.

Исходя из общего принципа функционирования биологических систем (в том числе и экосистем), основными критериями, определяющими их состояние, являются продуктивность, устойчивость, биологическое разнообразие и эффективность. Вследствие этого современные технологии и практики агроэкологии направлены на решение следующих задач:

- оптимизацию потоков веществ и энергии, активизацию работы наследственного аппарата продуцентов, обеспечение доступности питательных веществ;
- повышение стабильности биологических систем, совершенствование защитных механизмов, использование в этих целях сторонних факторов, развитие интегрированных систем защиты растений;
- сохранение и воспроизводство разнообразия на различных уровнях организации живых систем;
- совершенствование механизмов управления биологическими ресурсами, оптимизация функционирования биологических систем, включая создание комплексных.



Олег Баранов,
академик-секретарь
Отделения биологических наук
НАН Беларуси, член-корреспондент



Жанна Анисова,
ученый секретарь
Отделения биологических наук
НАН Беларуси

Один из практических примеров оптимизации потоков веществ и энергии – применение различных способов компостирования, позволяющих сократить количество регулярно вносимых питательных веществ для поддержания почвенного плодородия. Для интенсификации процессов минерализации органических остатков используют грибные или микробные штаммы-деструкторы, а также различные виды беспозвоночных-детритофагов, в том

числе вермикультуры. Также перспективны технологии аэробного компостирования, значительно (в 3–5 раз) сокращающие время получения компостов, увеличивающие в них содержание гуминовых кислот и доступных элементов питания, а также повышающие экологичность технологических процессов за счет снижения выбросов метана по сравнению с анаэробным разложением.

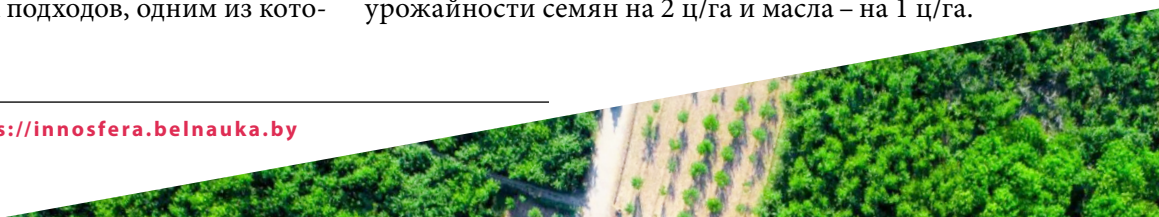
Альтернативная технология – технология биоферментации, она призвана улучшать плодородие почвы с помощью микробных препаратов. При этом, в отличие от прямого применения штаммов-деструкторов, почва насыщается необходимыми ферментами, ускоряющими минерализацию органических остатков. Данный подход позволяет задействовать дополнительные ресурсы сапротрофных и гетеротрофных организмов, обитающих в почве. Оценка эффективности внедрения данных технологий показала ускорение минерализации органических остатков в 2–3 раза, повышение доступности фосфора на 30–50%, улучшение структуры земель за счет образования стабильных гумусовых соединений. Дальнейшее развитие данного направления связано с разработкой адаптированных к конкретным агроландшафтам и климатическим условиям «интеллектуальных» ферментных систем. Они представляют собой биотехнологический инструмент для перехода к устойчивому сельскому хозяйству, сочетающему высокую продуктивность с экологической безопасностью, рациональное применение которого, по мнению многих ученых и практиков, позволит значительно снизить химическую нагрузку на агроэкосистемы при одновременном повышении урожайности и качества продукции.

Не менее важный аспект – максимальная реализация генетического потенциала продуцентов (растений), представленных в основном сельскохозяйственными культурами. Формирование в них необходимых признаков и свойств может быть достигнуто двумя путями: интенсивным – за счет структурных изменений генов (наследственная изменчивость) и экстенсивным – вследствие трансформации уровня их активности (экспрессии). Это может быть обусловлено прямым или косвенным воздействием внешних факторов среды, представлять собой следствие модификаций регуляторных генетических элементов, определяться доступностью генетической информации для ее реализации (транскрипции и трансляции) и вызвано увеличением числа копий генетического материала. Селекционный отбор растений по признаку продуктивности может выполняться с применением различных подходов, одним из кото-

рых является применение методов ДНК-маркирования, что дает возможность диагностировать хозяйственно ценные растения еще на ранних стадиях их развития, а также прогнозировать проявление требуемых признаков и свойств. Кроме того, современные молекулярно-генетические подходы дают возможность не просто проводить отбор селективируемых экземпляров, но и направленно создавать формы и сорта с заданными параметрами. Одно из популярных направлений – геномное редактирование – позволяет исправлять или «переписывать» генетическую информацию в нужном для селекционеров формате. Наиболее значимые результаты связаны с технологией редактирования CRISPR/Cas9, основанной на заимствовании природного генетического инструмента бактерий для борьбы с вирусами. Преимущества метода – точность и контролируемость вносимых изменений, более быстрое (2–3 года вместо 10–15 лет) создание новых сортов, наличие эмерджентности, что может приводить к формированию дополнительных эффектов, например снижению количества вносимых пестицидов и удобрений. Перспективные культуры для повышения их продуктивности методами геномного редактирования в агроэкосистемах Беларуси – лен и рапс, среди животных – крупный рогатый скот (увеличение содержания белка в молоке).

Как отмечалось, активизация работы генов может быть достигнута за счет воздействия внешних факторов, среди которых биостимуляторы различной природы. При этом они могут вноситься как в виде естественных или синтетических химических соединений, так и путем применения микроорганизмов, их продуцирующих. Одни из таких стимуляторов – различные фитогормоны на основе салициловой и β -аминомасляной кислот, брассиностероидов, а также ряд элиситоров, в частности производные бета-1,3-глюкана, не только повышающие продуктивность растений, но и их устойчивость к климатическим стрессам и некоторым болезням.

Так, для зерновых культур при внесении стимуляторов на основе бета-1,3-глюкана установлен комплексный эффект: повышение урожайности (до 15%) и устойчивости к болезням, таким как мучнистая роса; для овощей – снижение заболеваемости фузариозом и мучнистой росой, а также увеличение количества и качества плодов. В посевах льна-долгунца фитостимулятор обеспечил прибавку урожайности льносемян на 1,4 ц/га, общего льноволокна – на 1,3 ц/га и улучшение его качества на 1 номер. В посевах льна масличного отмечен рост урожайности семян на 2 ц/га и масла – на 1 ц/га.



Использование симбиотических организмов как источника фитостимулирующих веществ обеспечивает более пролонгированное воздействие на агроэкосистемы, так как микроорганизмы становятся их составной функциональной частью, а поступление стимуляторов происходит дозированно, в соответствии с естественными биологическими нормами. Кроме того, зачастую применяемые микроорганизмы замещают или вытесняют нежелательную микрофлору, оказывающую негативное влияние на растения.

Среди симбиотических микроорганизмов отдельно хотелось бы выделить ризобактерии и микоризообразующие грибы, формирующие устойчивые ассоциации с растениями через корневую систему. Преимущества таких симбиозов для культур: увеличение площади поглощения воды и минеральных веществ (особенно фосфора и цинка), возможность получения влаги из более глубоких слоев почвы, что определяет повышение засухоустойчивости, а также защиту от ряда патогенов за счет продуцирования микроорганизмами фитозащитных соединений.

Эффективному поступлению фитостимуляторов в растения содействует использование различных макромолекулярных носителей, в том числе и наночастиц, которые с одной стороны характеризуются наилучшей сорбируемостью клетками растений, с другой – обеспечивают постепенное высвобождение активных веществ из их комплексов. Наночастицы в качестве молекулярных носителей уже успешно апробированы и нашли широкое применение для доставки различных видов микроудобрений в растения (препараты серии Наноплант).

Устойчивость агроэкосистем определяется ее способностью сохранять структуру и функции при различных воздействиях. В первую очередь это относится к поддержанию видового богатства (перечень видов и их количественное соотношение), а также функциональности отдельных элементов. Биоразнообразие в агроэкосистемах представляет собой сложную систему взаимосвязей между генетическим спектром агрокультур и сортов, видовым разнообразием растений, животных и микроорганизмов, а также множеством экологических ниш и функциональных групп. Современная парадигма создания устойчивых агроэкоценозов требует перехода от упрощенных монокультурных систем к сложноорганизованным агроэкологическим комплексам, где биоразнообразие становится основным производственным ресурсом.

Для реализации указанной парадигмы, наряду с традиционными методами сохранения биоразнообразия, перспективными технологиями станут

микробиомный инжиниринг, включая дизайн микробных консорциумов и управление ризосферными взаимодействиями; ландшафтная геномика, направленная на анализ адаптивного потенциала и выявления ключевых функциональных генов, а также цифровое моделирование агроэкосистем с последующей разработкой механизма поддержки принятия решений и прогнозирования динамики их структуры.

Защитные свойства растений могут совершенствоваться благодаря аналогичным технологиям повышения продуктивности – CRISPR и TILLING (создание устойчивых к засухе, засолению и патогенам сортов), иммуностимуляции элиситорами (хитином, хитозаном, бета-глюканами), микробным биопленкам с фитозащитным действием, использованию энтомофагов и биоинсектицидов. Дополнительным защитным фактором могут выступать и сторонние элементы, такие как феромонные ловушки и «*push-pull*»-стратегии (введение в состав агроэкосистем дополнительных видов растений, привлекающих или наоборот отпугивающих вредителей), физические или химические барьеры для проникновения патогенов.

Одна из инновационных разработок – формирование органоминеральных нанопокровов на поверхностях различных частей растений. Так, изучение проростков семян пшеницы, обработанных наночастицами серебра, показало, что водные растворы с разными стабилизаторами (полиэтиленгликоль, карбоксиметилцеллюлоза, олеат натрия) и размерами частиц (12–30 нм) в концентрации 500 мг/л стимулируют их развитие. Хорошие результаты дала и предобработка проростков пшеницы, оказавшая защитное действие также и на фотосинтетический аппарат и предотвратившая развитие корневой гнили. Защитно-стимулирующие составы на основе физиологически активных веществ (гуматов, меланоидиновых и кремниевых препаратов, янтарной кислоты, терпеновых кислот) в сочетании с микроэлементами и биопрепаратами (Флавобактерин, Ризобактерин) для предпосевной обработки семян зерновых позволили снизить дозы фунгицидов на 30–50%.

Сходные результаты получены и для льна: предпосевная обработка семян и вегетирующих растений защитно-стимулирующими составами, содержащими наряду с фунгицидами полимеры (ВРП-3, Экогум-филм), регуляторы роста (препараты серии Экосил, Гидрогумат) и микроэлементы в хелатной форме (МикроСил, МикроСтим), обеспечила повышение урожайности и качества льнопродукции.

Полимерные покрытия семян и корневых систем показали свою востребованность не только в усло-

виях агроэкосистем. Яркий пример – посадочный материал лесных культур, корневые системы которого обработаны защитными полимерными составами серии Корпансил, предотвращающими иссушение при пересадке как основную причину снижения приживаемости.

Современный тренд в формировании агроэкологических систем – совершенствование подходов к управлению биоразнообразием, превращение его из пассивного ресурса в активный элемент устойчивого сельского хозяйства. При этом в основу положен принцип трансформации биоразнообразия из экологического актива в основной инновационный капитал агроэкологии. Таким образом, синтез биологических принципов и инновационных технологий создает новую парадигму – Biodiversity-Driven Agriculture – сельское хозяйство, ориентированное на биоразнообразие, где каждый элемент агроэкосистемы становится источником технологических решений. Биоразнообразие в данном ключе является основной базой адаптивных свойств и признаков, которые могут быть ретранслированы через биомиметику (природоподобные технологии), горизонтальный перенос полезных признаков и эмерджентные свойства сложных систем.

Мероприятия по управлению данными процессами могут производиться на различных уровнях организации живой материи: от молекулярного до экосистемного. Первый предусматривает фиксацию, хранение, восстановление и использование генетического материала живых организмов через систему создания биобанков (ДНК-банки, криобанки и др.), которые, кроме ключевой роли в сохранении биоразнообразия, позволяют депонировать генетическое разнообразие редких и исчезающих видов, предоставляют генетический материал для научных исследований, реинтродукции и восстановления популяций, выступают источником генетических ресурсов для будущего использования (например, в медицине, сельском хозяйстве, биотехнологиях).

ДНК-коллекции (банки) растений, животных, микроорганизмов (включая фитопатогены) сформированы во всех учреждениях биологического и аграрного профиля НАН Беларуси, проводящих молекулярно-генетические исследования. Так, по состоянию на 2025 г. Республиканский банк ДНК человека, животных, растений и микроорганизмов Института генетики и цитологии включает 17 423 образца биологического материала, из которых 4259 входят в секцию «Банк ДНК растений». Институтом микробиологии созданы Белорусская коллекция непатогенных микроорганизмов, общий фонд

которой насчитывает свыше 3250 штаммов различных таксономических групп, а также криоколлекции почвенных микробиомов. Криобанки позволяют сохранять уникальные микробные сообщества редких почв (черноземов, торфяников), которые могут быть утрачены из-за антропогенного воздействия и применяться для восстановления деградированных, загрязненных или истощенных земель, имеют высокую востребованность для фундаментальных исследований, нацеленных на изучение эволюции микроорганизмов и их адаптации к изменяющимся условиям.

При сохранении биоразнообразия на экосистемном уровне важным аспектом является не защита отдельных видов, а поддержание сложных природных взаимосвязей, что в значительной степени зависит от оптимального сочетания мероприятий по охране, восстановлению и устойчивому управлению биологическими ресурсами. Это в совокупности обеспечивает долгосрочное функционирование экосистем в условиях глобальных климатических изменений. В качестве примера можно привести эволюционные технологии, включающие направленную коэволюцию растений и их симбионтов – управляемый процесс совместной адаптации культур и их микробных/грибных компонентов для создания устойчивых агроэкосистем. Этот подход имитирует естественные эволюционные этапы, но ускоряет их в 10–100 раз за счет современных биотехнологических инструментов. В результате происходит взаимная адаптация сельскохозяйственных культур и их симбионтов через искусственный отбор в стрессовых условиях, геномное редактирование комплементарных признаков, микробиомное программирование. Направленная коэволюция – сложный, но важный процесс, играющий ключевую роль в формировании агроэкосистем и устойчивом развитии растениеводства и позволяющий создавать саморегулируемые и устойчивые агроэкосистемы, снижать зависимость от агрохимикатов на 40–70%, обеспечивать быструю адаптацию сельского хозяйства к климатическим изменениям.

Следует подчеркнуть, что инновации на основе биологических особенностей живых организмов позволяют повысить продуктивность аграрной отрасли, снизить уровень использования химических препаратов и сохранить природные ресурсы. Комбинации биотехнологий, цифровых решений и экологических практик – эффективный инструмент для формирования устойчивых агросистем будущего. Стабильность последних может быть достигнута только за счет комплексного подхода, сочетающего экологические принципы, современные технологии и адаптивные стратегии. ■

Жанна Калацкая,
заместитель директора по научной
и инновационной работе Института
экспериментальной ботаники
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук

Нинель Еловская,
научный сотрудник Института
экспериментальной ботаники
НАН Беларуси

Марина Мандрик-Литвинкович,
заведующий отраслевой
лабораторией ГНПО «Химический
синтез и биотехнологии»,
кандидат биологических наук

Ксения Гилевская,
ведущий научный сотрудник
Института химии новых материалов
НАН Беларуси, кандидат
химических наук

Игорь Овчинников,
научный сотрудник Института
экспериментальной ботаники
НАН Беларуси, аспирант

Екатерина Рыбинская,
научный сотрудник Института
экспериментальной ботаники
НАН Беларуси, аспирант

Инновации в агроэкологии: как Беларусь адаптируется к вызовам современности

Одно из ключевых направлений Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. и проекта документа до 2040 г. – экологизация аграрной отрасли, внедрение в практику методов органического и почвосберегающего сельского хозяйства. Планируется продолжить работы, нацеленные на сохранение и повышение плодородия земель путем внесения минеральных и органических удобрений, нанопрепаратов, использования экологически безопасных средств защиты растений.

Незаменимым инструментом повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях высоких техногенных нагрузок становится использование микробных препаратов на основе бактерий, стимулирующих рост растений (Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB), в том числе представителей рода *Bacillus*. Согласно многочисленным исследованиям, бактерии рода *Bacillus Cohn.* – наиболее изученная и перспективная группа для биологического контроля популяций фитопатогенов благодаря таким механизмам действия, как конкуренция за питательные вещества и пространство, синтез антибиотиков, гидролитических ферментов, противовирусных метаболитов, сидерофоров и/или индукция системной устойчивости растений. Кроме того, PGPB, относящиеся к роду *Bacillus*, способны повышать доступность элементов питания для расте-

ний и синтезировать ряд ростстимулирующих гормонов. Актуальным является поиск новых препаратов для сохранности биологических свойств бактериальных препаратов.

Значительное число научных отечественных и зарубежных публикаций и патентов свидетельствует о большом интересе и практической значимости изысканий, направленных на совершенствование товарных форм биопрепаратов для повышения приживаемости интродуцентов в биоценозах, их устойчивости к физико-химическим воздействиям окружающей среды, стабильности конечного продукта. Для этого могут быть задействованы различные методы иммобилизации микроорганизмов-антагонистов, предусматривающие адсорбцию клеток в гелях или на твердых носителях и др.

Доказана и широко изучается роль индукторов устойчивости биогенной и абиогенной природы для повышения общей неспецифической устойчивости

растений (иммунного статуса) к неблагоприятным факторам путем стимуляции природных защитных механизмов. Для этого применяются фрагменты молекул природных биополимеров, таких как полисахариды, к достоинствам которых относится возобновляемая и доступная сырьевая база и ряд таких уникальных и ценных свойств, как биосовместимость, нетоксичность и широкий спектр физиолого-биохимической активности. Широко используемые полисахариды – это пектины и хитозаны. В последние годы доказан потенциал практического применения не только для олигомерных и полимерных форм этих полисахаридов, но и для их структурных аналогов и нанокомпозитов с наночастицами металлов и оксидов металлов.

На основе хитозана и его производных созданы коммерческие препараты для защиты растений от грибных, бактериальных и вирусных болезней: Chito Plant, Biochit, Stemicol (EC), Elexa, PDB – Plant Defense Booster, YEA – Yield Enhancing Agent (США). Ведущий научный центр по разработке препаратов на основе хитозана в Российской Федерации – Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (Санкт-Петербург) – создал средства Хитозар, Нарцисс, Экогель и др.

Следует учитывать, что существуют лимитирующие факторы широкого практического применения хитозана, которые связаны с его физико-химическими свойствами: низкой растворимостью в воде, невысокой стабильностью в почве и недостаточной адгезионной активностью. К тому же биологическая активность данного полисахарида во многом зависит от его молекулярной массы, степени полимеризации и деацетилирования, что усложняет подбор эффективной дозировки и делает производство и применение препаратов экономически нецелесообразным.

При этом наличие в его биополимерной цепи функциональных групп позволяет получать различные солевые формы (гидрохлориды, лактаты и др.) и синтезировать функциональные производные: карбоксиметилхитозан, гидроксипропилхитозан. Компании Agrilaete (Италия) и ChiPro GmbH (Германия) выпустили препараты для защиты и стимуляции роста растений на основе гидрохлорида хитозана – Chitosano и ChiProPlant.

В последнее десятилетие в Институте химии новых материалов НАН Беларуси активно разрабатываются функциональные материалы медицинского и сельскохозяйственного назначения на основе полисахаридов и их производных, в том числе хитозана модифицированного фрагментами феноль-

ных кислот. Так, в ИХНМ разработаны методики синтеза конъюгатов хитозана с оксикоричными кислотами в соответствии с принципами «зеленой химии» и получения нанокомпозитов пектин-серебро и хитозан-серебро в соответствии с принципами «зеленой» химии.

Введение новых функциональных групп и заместителей в хитозан позволяет получать производные с повышенной растворимостью и улучшенной антиоксидантной активностью. Исследования биологической активности производных хитозана с оксисбензойными и оксикоричными кислотами обусловлены участием последних в защите культур от биотических стрессов. Растения отвечают на атаку патогенов аккумуляцией таких фитоалексинов, как гидроксикумарины и конъюгаты гидроксидиннамата. Синтез, высвобождение и накопление фенольных веществ (в частности, салициловой кислоты) – центральные звенья многих защитных стратегий от патогенов. Было показано, что конъюгация хитозана и кофейной кислоты позволяет получать материалы с улучшенными свойствами: антиоксидантными, антимикробными, рост-стимулирующими и др.

Модифицированные соединения хитозана, являясь биополимерами и биологически активными веществами, могут расширять защитный спектр биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus*, в том числе выступать в качестве носителей микробиологических средств.

Благодаря совместным исследованиям ученых Института химии новых материалов и Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси доказана перспективность модифицированных производных хитозана при выращивании растений; дана оценка ростовой активности наночастиц хитозана с молекулярными массами 20 кДа и 800 кДа и феруловой кислотой на пшенице и редисе; выявлен положительный эффект обработки семян конъюгатами на основе хитозана и оксикоричных кислот при выращивании проростков огурца, ячменя и редиса. Соединения способны оказывать стимулирующее воздействие на микрораспространяемые растения картофеля в культуре *in vitro*, повышая их устойчивость к осмотическому стрессу. Выявлено физиологически активное влияние синтезированных нано- и субмикронных гидрогелевых частиц пектината кальция с транс-коричной кислотой на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях проростков кукурузы.

В совместных международных исследованиях Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси и Института биохимии и генетики

УФИЦ РАН (Российская Федерация) установлено, что обработка *Bacillus subtilis* и конъюгатов хитозана с гидроксикоричными кислотами стимулировала защитные реакции картофеля против возбудителя фитофтороза и Y-вируса.

Следует отметить, что в целом потенциал многих биологически активных веществ, в частности синтетических фитогормонов или низкомолекулярных фенольных соединений в комплексе с микробиологическими препаратами для создания, например, новых регуляторов роста или биопестицидов, практически не изучен; выпускается незначительное количество таких средств, что, вероятно, объясняется их низкой растворимостью в водных растворах и другими физико-химическими свойствами.

Сотрудниками Института экспериментальной ботаники и ГНПО «Химический синтез и биотехнологии» НАН Беларуси разработан регулятор роста растений «МАКРОФИТУМ, ВС» на основе бактерий *Bacillus subtilis* и комплекса синтетических фитогормонов, который обеспечивает активный рост цветочных культур, существенно повышает их декоративность, снижает заболеваемость за счет оптимизации усвоения элементов питания и улучшения свойств субстрата, а также, по сравнению с зарубежными аналогами, имеет более низкую стоимость. Отечественная разработка частично заменяет импортные препараты, имеет низкую токсичность, может применяться в водоохранной зоне.

К перспективным, экологически безопасным технологическим приемам, обеспечивающим повышение продуктивности культур, относят их обработку регуляторами роста (биостимуляторами). При низких нормах расхода они оказывают существенное влияние на ростовые, физиологические и формообразовательные процессы в культурах. Согласно прогнозам, рынок биостимуляторов достигнет 4,9 млрд долл. в 2025 г. при среднегодовом темпе роста 11,2%. Такая тенденция обусловлена в первую очередь потребностью в сохранении продуктивности сельхозкультур, снижающейся из-за неблагоприятных факторов, обусловленных изменениями климатических условий и интенсивными методами сельхозпроизводства. Использование наноматериалов создает предпосылки для ведения устойчивого сельского хозяйства. Значительного прогресса в данной области достиг Китай. Количество опубликованных учеными этой страны статей, зарегистрированных индексом цитирования (SCI), касающихся нанотехнологий, выше, чем у американских исследователей.

Преобладающими на рынке нанопродуктами для аграрного сектора являются удобрения. У США – лидирующие позиции по патентам и публикациям, связанным с технологиями их выпуска. Все изготовленные в Соединенных Штатах и упоминаемые в литературе нанопрепараты для аграрной отрасли – жидкие удобрения, полностью растворимые в воде.

Российский НИИ удобрений и инсектофунгицидов им. Я. В. Самойлова также ведет работы по созданию наноудобрений с помощью методов измельчения крупномолекулярных образований питательных и биологически активных веществ. В растворимые в воде составы входят гуматы, фульво- и аминокислоты, витамины, натуральные фитогормоны, микро-, мезо- и макроэлементы. Доказано, что фунгицидная активность препарата Зерокс, содержащего коллоидное серебро, в отношении *P. infestans* превышает активность Манкоцеба и находится на уровне таких широко применяемых на практике фунгицидов, как флуазинам и хлороталонил.

В Беларуси активно развиваются фундаментальные и прикладные исследования, нацеленные на разработку методов получения и изучения биологического воздействия наноматериалов на живые организмы. Для сельского хозяйства производится регулятор роста растений и 5 марок микроудобрений с наноразмерными микроэлементами в составе. Институтом физико-органической химии НАН Беларуси совместно с Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси разработано и выпускается микроудобрение Наноплант, содержащее наночастицы микроэлементов.

Наиболее выраженный биоцидный эффект характерен для наночастиц серебра, особенно в отношении таких патогенов, как *Phytophthora parasitica*, *Fusarium* spp. и *Meloidogyne* spp. О действии наночастиц на растения в литературе приводятся противоречивые сведения: одни авторы показывают их негативное влияние, другие выявили стимулирующий эффект, третьи зафиксировали отсутствие какого-либо результата, некоторые утверждают о разнонаправленной реакции представителей различных видов.

Именно поэтому синтез наночастиц серебра (Ag) желательно осуществлять в соответствии с принципами «зеленой» химии, то есть без токсичных восстановителей и органических растворителей, чтобы избежать дополнительных стадий очистки готового продукта от них и определения остаточных количеств. Известны способы получения наночастиц серебра под действием экстрактов растений, грибов, дрожжей и водорослей. Перспективный

способ синтеза – химическое восстановление катионов Ag^+ полисахаридами. Использование их восстановительного и стабилизирующего потенциала позволяет получать коллоиды в водных средах без токсичных восстановителей и растворителей, а также без дополнительного введения стабилизатора в реакционную смесь. Следует отметить, что синтезируемые таким способом наноконпозиты полисахарид- Ag биосовместимы и могут обладать свойствами, присущими каждому из компонентов, а также вероятно реализация синергетического действия.

Совместные исследования Института экспериментальной ботаники и Института химии новых материалов НАН Беларуси демонстрируют перспективность разработки препаратов на основе наноконпозитов полисахарид- Ag . Установлено, что для микроклональных растений картофеля токсичность наночастиц серебра зависит от их структуры, включающей неорганическое ядро Ag^0 , стабилизированное полимерной оболочкой полисахарида хитозана (core-shell-структура), и массового содержания хитозана, формирующего плотную оболочку, замедляющую процесс образования ионов серебра Ag^+ . Показано, что применение наноконпозитов «пектин-серебро» приводит к снижению интенсивности окислительных процессов, вызванных некротрофными грибными патогенами, усилению лигнификации растительной клетки на начальном этапе развития болезни, что способствует замедлению некрозообразования и сохранению жизнеспособности листьев ячменя в модельном эксперименте.

На отдельных культурах доказана эффективность применения наноконпозитов полисахарид- Ag совместно с бактериями *Bacillus subtilis* против фитопатогенов.

Дополнительными агрохимическими ресурсами, способствующими восстановлению почв, снижению заболеваемости и сохранению продуктивности растений, могут быть комплексные удобрения и добавки на основе различных минеральных компонентов (природные минералы, руды), включающих полезные штаммы микроорганизмов, элементы питания и БАДы.

Улучшить плодородие можно путем использования медленно действующих средств, представляющих собой ионитные (ионообменные) цеолитные питательные субстраты, включающие биологические активаторы почвенных процессов.

Впервые теоретические основы и практические методы получения полноценных питательных ионообменных сред (субстратов) для выращивания рас-

тений разработаны под руководством академика НАН Беларуси В.С. Солдатова. Как показали длительные исследования, проведенные в том числе и в Институте экспериментальной ботаники, такие субстраты обладают оптимальным сочетанием агрофизических и питательных свойств, просты в эксплуатации, обеспечивают высокое качество растительного материала.

В настоящее время группой ученых под руководством академика В.С. Солдатова проводятся эксперименты по изучению влияния питательных субстратов на основе цеолитов, а также гранулометрического состава цеолитного субстрата Цион® и его содержания в различных грунтах на рост и развитие растений.

В Институте экспериментальной ботаники разработан и используется ионообменный субстрат Триона®, который проходит этапы модификации и оптимизации.

За рубежом изыскания шли в большей степени в направлении культивирования растений на обогащенных цеолитовых субстратах, в так называемой циопонной среде. Болгарские исследователи первыми изготовили такой субстрат из цеолита, торфа и вермикулита, который назвали зеоронис. С тех пор различные системы Циопоник для роста растений создавали ученые NASA для национального агентства аэронавтики и космоса США. Его специалисты представили искусственный субстрат, обеспечивающий растения необходимыми питательными веществами. Он содержал клиноптилолит (разновидность цеолита), насыщенный ионами аммония и калия и в дополнение к катионообменнику – другие твердофазные минералы, такие как доломит, кальцит и др., обуславливающие наличие необходимых буферных ионов, анионов и микроэлементов.

В наши дни цеолиты привлекают особое внимание в связи с их уникальными характеристиками и множеством преимуществ для сельскохозяйственной деятельности. Доказано, что составы значительно улучшают рост, урожайность и качество большинства культур и максимизируют эффективность использования ресурсов.

Тренд ежегодных публикаций о применении цеолита в сельском хозяйстве представлен на рисунке.

В ионитных субстратах элементы питания культур связаны с носителем и могут высвобождаться и усваиваться только в обмен на ионы-метаболиты, синтезируемые самим растением из углекислого газа и воды (ионы водорода, гидрокарбонат- и карбонат-ионы). Благодаря этому объект получает только то, что ему действительно необходимо.

Способность ионитных субстратов ограниченно поглощать и удерживать биогенные элементы питания (основа минеральных удобрений) с последующим их контролируемым выделением обеспечивает сохранение плодородия грунта в течение длительного периода времени.

В качестве ионообменного субстрата особо перспективен цеолит – природный минерал, включающий оксиды алюминия, железа, натрия, магния, марганца, кальция, титана, калия, кремния и обладающий сорбирующими, ионообменными, каталитическими и буферными свойствами. Благодаря высокой ионообменной способности (0,65 мг-экв/г по ионам аммония и калия) цеолиты поглощают и сохраняют элементы питания в зоне корней растений, вымывание азота уменьшается в 4–5 раз, усвоение удобрений улучшается на 20–40%.

Многообещающий биоактивный компонент питательного цеолитного субстрата – трепел – еще один природный минерал, добываемый в республике из месторождения «Стальное» Хотимского р-на Могилевской обл. Он относится к известковому типу с достаточно равномерным распределением кремневой (опал-кристобалитовой), глинистой и карбонатной составляющих и широким распространением цеолитов (до 25%), тонко рассеянных в матриксе, содержит макро- и микроэлементы, обладает сорбционными свойствами и зарекомендовал себя прекрасным мелиорантом. По количеству усваиваемого растениями кремния (от 10 до 30%) его можно отнести к природным кремнийсодержащим полиминеральным удобрениям.

В этой связи средства на основе природных минералов с включением и агрономически ценных микроорганизмов, и биологически активных соединений представляют особую значимость,

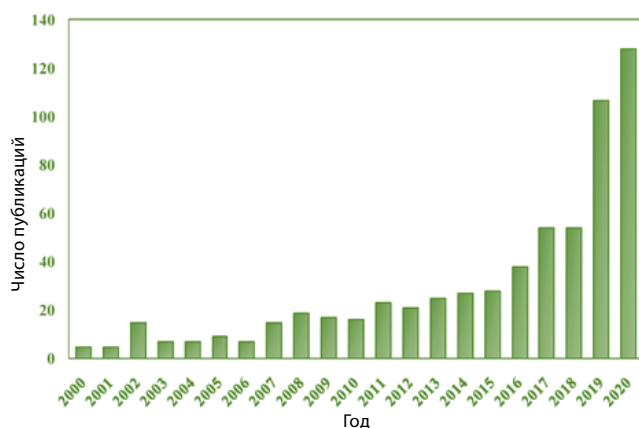


Рисунок. Тенденция ежегодных публикаций о применении цеолита в сельском хозяйстве в 2000–2020 гг.

поскольку их внесение позволяет улучшить структуру и физико-химические свойства почвы, нормализовать ее кислотность, активизировать деятельность полезных бактерий, ускорить формирование корневой системы. Кроме того, они характеризуются длительностью использования, поскольку связанные с ионообменниками элементы питания поглощаются растениями постепенно, в течение всего вегетационного периода.

Институтом экспериментальной ботаники совместно с ГНПО «Химический синтез и биотехнологии НАН Беларуси» и Центральным ботаническим садом разработаны бактериализованные гранулированные удобрения и добавки, которые сочетают в себе достоинства отдельно взятых органических и минеральных составляющих, усиливают и продлевают действие каждого из компонентов. Вследствие уникальных ионообменных и адсорбционных свойств трепела, наличия легко усваиваемого растениями кремния бактериализованные удобрения повышают эффективность использования макро- и микроэлементов из минеральных солей; активные вещества, вырабатываемые микроорганизмами, стимулируют физиологические процессы и укрепляют иммунную систему растений, ускоряют их рост и развитие. Благодаря повышенному содержанию кальция трепел способствует нормализации кислотности почв, активизирует деятельность полезных микроорганизмов, обеспечивает формирование хорошо развитой корневой системы, а также улучшает водный и воздушный режимы почвы, совершенствует структуру верхнего плодородного горизонта, проявляет себя как мелиорант.

Эти удобрения удобно транспортировать и хранить, равномерно вносить на больших площадях при помощи стандартной техники. Сохранению гранулы способствует торф высокой степени разложения. Кроме того, она является стабильным источником полезной микрофлоры в постоянно меняющихся в ризосфере условиях.

Таким образом, одной из наиболее эффективных стратегий сохранения и повышения плодородия почв следует считать разработку технологий комплексных экологически безопасных биопрепаратов и биоудобрений, включающих бактерии, стимулирующие рост растений, и модифицированные природные соединения (полисахариды или вторичные метаболиты растений), а также природные минералы, которые, в отличие от химических пестицидов, не загрязняют окружающую среду, не оказывают негативного влияния на экосистемы и здоровье человека, но при этом не менее эффективны. ■



Александр Кильчевский,
заместитель Председателя
Президиума НАН Беларуси,
академик

Игорь Гордей,
заведующий лабораторией
цитогеномики растений Института
генетики и цитологии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент

Валентина Лемеш,
заведующий лабораторией
прикладной геномики Института
генетики и цитологии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент

Марина Синявская,
заведующий лабораторией
нехромосомной наследственности
Института генетики и цитологии
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент

Современная селекция растений: ускорение получения улучшенных сортов

Современная селекция растений стоит на пороге революционных изменений, когда традиционные методы гибридизации и отбора, отработанные десятилетиями, дополняются и совершенствуются благодаря достижениям молекулярной биологии, биоинформатики и геномного редактирования.

Эволюция подходов в селекции растений

Традиционные методы селекции, основанные на фенотипических наблюдениях и эмпирическом опыте (гибридизация, отбор, рекомбинация признаков), позволили добиться значительных успехов. Однако они обладают рядом ограничений: высокой трудоемкостью, длительными селекционными циклами (от 8 до 12 лет), зависимостью от погодных параметров и отсутствием точных предикторов наследуемости признаков, что особенно критично в условиях глобальных климатических изменений и нарастающего давления стрессовых факторов.

Для успешного создания новых сортов в современных условиях требуется интеграция методов традиционной селекции с новыми молекулярно-генетическими, геномными и биоинформатическими подходами. Ключевое условие такого перехода – мобилизация и оперативное использование генетических ресурсов. ДНК-технологии дают возможность выявлять области генома, ответственные за различные признаки, например устойчивость к абиотическим (засуха, экстремальные температуры, засоление почв) и биотическим (вредители, фитопатогены) стрессам, значительно расширяя возможности предсказуемого управления агрономически значимыми признаками.

Маркерная и геномная селекция: переход к молекулярной предсказуемости

Активно развиваются методические подходы к маркерной (маркер-вспомогательной, marker-assisted selection, MAS) и геномной (GS) селекции. Они трансформировали эмпирическую селекцию в относительно управляемый и предсказуемый процесс.

Метод основан на использовании молекулярных маркеров, которые ассоциированы с важными генами или аллелями (блоками генов), отвечающими за хозяйственно ценные признаки и отбор по ним. Это позволяет уже на ранних этапах селекционного процесса точно отбирать желаемые генотипы, несущие целевые аллели, существенно сокращая временные и материальные затраты. Благодаря высокопроизводительному секвенированию получено огромное количество данных о сравнительной изменчивости геномов сельскохозяйственных культур, разра-

ботаны многочисленные маркеры к ряду признаков на основании функционально значимых однонуклеотидных замен (SNP), а также технологии, подобные KASP (Kompetitive Allele Specific PCR), с высокой специфичностью идентифицирующие аллели генов.

Современные технологии повышения эффективности селекционного процесса

Сокращение времени, необходимого для получения и внедрения новых сортов стало одной из тенденций современной селекции.

Ключевое достижение – технология ускоренного размножения (speed breeding), позволяющая получать до 4–6 поколений растений в год. В основе методики – создание оптимальных условий выращивания (удлиненный световой день, контролируемая температура, влажность), стимулирующих быстрое прохождение фенологических фаз, специальные биотехнологические приемы. Изначально созданная для пшеницы и ячменя, эта технология успешно применяется для широкого спектра культур.

Важным компонентом ускоренной селекции стал высокопроизводительный фенотипический скрининг (рис. 1). Применение беспилотных летательных аппаратов, роботизированных платформ, теплиц с автоматическим контролем условий и видеонаблюдением позволяет собирать данные о физиологическом состоянии растений, темпах роста, стрессоустойчивости и продуктивности на больших выборках. Такая автоматизация и цифровизация фенотипирования особенно эффективны при одновременном использовании с методами молекулярной селекции (MAS и GS).

Основная тенденция современного селекционного процесса – переход к активному использованию методов искусственного интеллекта (ИИ) и биоинформатики, наряду с традиционными подходами.

Широкомасштабное секвенирование геномов и построение референсных баз данных помогают анализировать генетическое разнообразие и выявлять аллели, ассоциированные с признаками. На основе больших массивов генотипических и фенотипических данных создаются прогнозные модели, с помощью которых можно предсказывать поведение генотипов в различных агроэкологических условиях, оптимизировать скрещивания и автоматизировать отбор перспективных линий. Применение ИИ смещает акцент с эмпирической селекции к моделируемой и управляемой, где решения принимаются на основе сопоставления миллионов комбинаций и сценариев. Анализ полногеномных данных в сочетании с омикс-технологиями (транскриптомикой, метаболомикой, эпигеномикой) позволяет понять

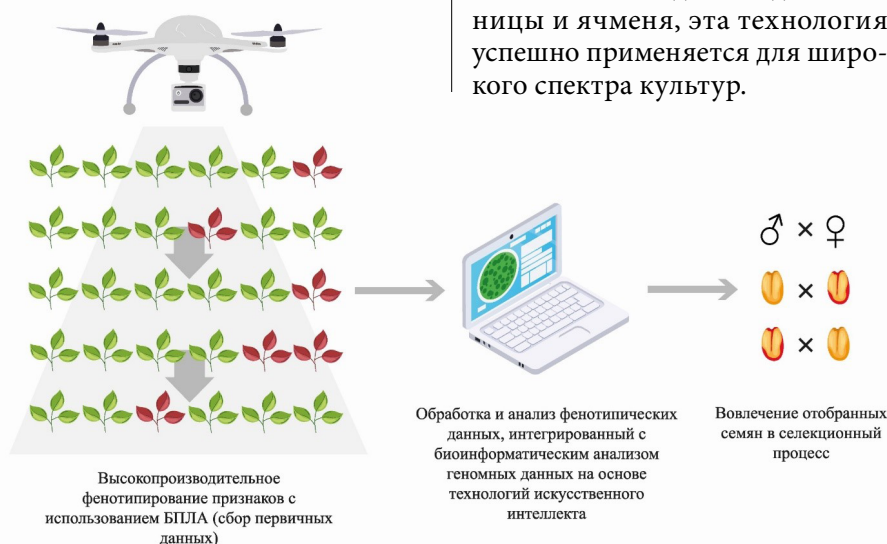


Рис. 1. Интегрированный подход к высокопроизводительному фенотипическому скринингу в современной селекции

механизмы регуляции признаков на глубинном молекулярном уровне для целенаправленного отбора. Цифровая трансформация формирует новую парадигму научно обоснованного и высокоэффективного создания сортов, способную отвечать на вызовы глобальной продовольственной безопасности.

Геномное редактирование и новые биотехнологические подходы

Современная селекция вступила в новую эпоху благодаря внедрению методов точной модификации генома, прежде всего систем редактирования на основе CRISPR/Cas. В отличие от классической геномной инженерии, эти технологии позволяют вносить прицельные изменения в ДНК растений без внедрения чужеродного генетического материала. Метод CRISPR/Cas дает возможность точно выключать, активировать или изменять работу отдельных генов, ответственных за устойчивость к стрессам, болезням, а также за проявление различных качественных и количественных признаков. Благодаря редактированию генома желаемый результат достигается за 1–2 цикла, минуя длительные этапы селекции и обратного скрещивания. Особое внимание уделяется созданию изогенных линий с различием в 1 отредактированный локус, точно устанавливающих вклад гена в проявление признака.

Параллельно развивается синтетическая биология. С ее помощью конструируются новые метаболические пути в растениях, формируются признаки, отсут-

ствующие в природных популяциях, оптимизируется архитектура растения для повышения его адаптивности и продуктивности.

В последние годы многие из этих технологий активно используются и развиваются учеными Института генетики и цитологии НАН Беларуси.

Практическая реализация геномных технологий в селекционной практике Беларуси

Ведущее место в системе продовольственной безопасности нашей страны традиционно занимают зерновые культуры, в селекции которых Институт генетики и цитологии НАН Беларуси выступает одним из лидеров. Приоритет отдается маркерной селекции, разработке высокоинформативных молекулярных маркеров, генотипированию с использованием технологии KASP и созданию новых сортов с заданными свойствами.

Пшеница – одна из самых распространенных зерновых культур в мире и основной источник питательных веществ в рационе человека. Между тем процесс интенсивной селекции привел к значительной эрозии ее генофонда по питательной ценности зерна, вследствие чего современные сорта отличаются низким содержанием в нем белка, минералов и витаминов. Дикорастущие сородичи и стародавние образцы обладают улучшенными биохимическими показателями по сравнению с культивируемыми сортами. Большие надежды в решении данной проблемы возлагаются на отдаленную гибридизацию.

С целью обогащения и улучшения генофонда мягкой пшеницы в скрещивании с сортами *T. aestivum* были привлечены образцы видов *T. dicoccoides*, *T. dicoccum*, *T. durum*, *T. spelta*, *T. kiharae*. Молекулярно-цитогенетический анализ (С-бэндинг, генотипирование маркерами SNP и SSR) выявил высокую частоту интрогрессии генетического материала данных видов в геном гибридных линий пшеницы [1]. Для большинства линий отмечен высокий уровень цитологической стабильности (мейотический индекс составил более 90%), что обеспечивает формирование у них функциональных гамет в количестве, достаточном для успешной репродукции.

Перспективно использование родственных видов для повышения питательной ценности зерна. Установлено превышение интрогрессивных линий над родительскими сортами по накоплению микроэлементов Zn, Fe, Cu, Mn [2], заменимых (аспарагиновая кислота, глицин, аргинин, аланин) и незаменимых аминокислот (изолейцин, треонин, валин), содержанию белка и клейковины в зерне [3]. Выделены линии с чужеродным генетическим материалом со стабильно высокими показателями качества зерна, которые переданы для научных исследований (Институт биологии Карельского научного центра РАН, Институт цитологии и генетики СО РАН) и включения в селекционный процесс (НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Институт ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана).

Сотрудниками института проведены комплексные исследования

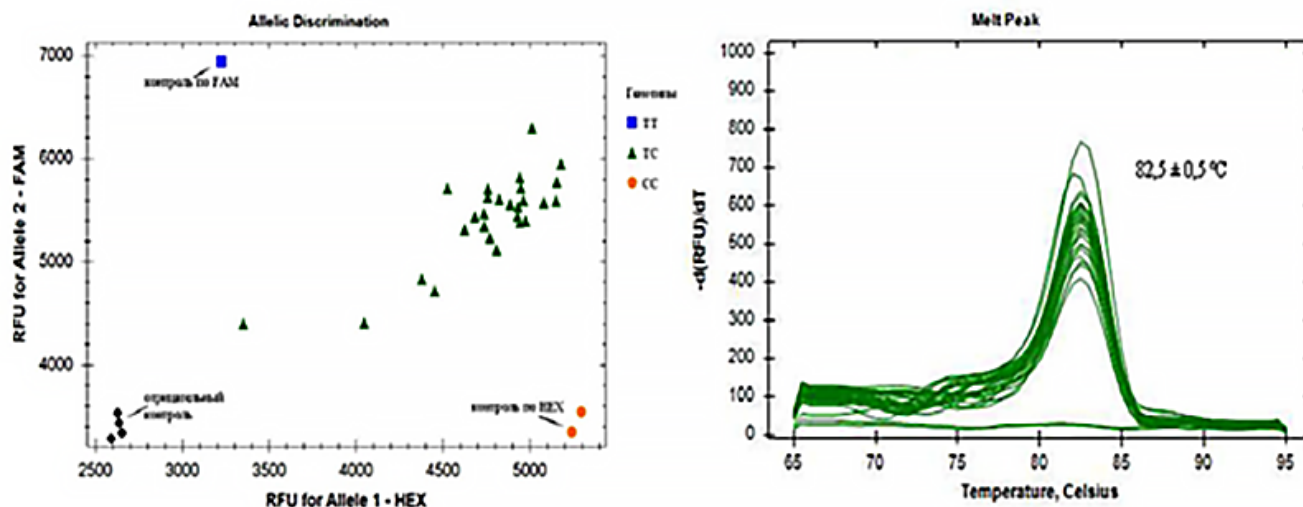


Рис. 2. 2D-график аллельной дискриминации для однонуклеотидной замены T>C в гене *TaSus2-2B*

генетического разнообразия коллекций озимой и яровой пшеницы с использованием современных методов ДНК-генотипирования (по второй сформирован уникальный селекционный материал, адаптированный к условиям Беларуси). Разработана методика генотипирования KASP для селекции пшеницы по 17 генам, ассоциированным с хозяйственно ценными признаками: массой 1 тыс. зерен, качественными характеристиками зерна, высотой растения, комплексной устойчивостью к грибным болезням. Большая часть изучаемых образцов оказалась гетерозиготами по локусу *TaSus2-2B*, несущими генотип T/C (*Нар-L/Нар-H*, рис. 2). Благоприятный генотип C/C (гаплотип *Нар-H*) существенно увеличивал массу 1 тыс. зерен [4].

Работа по данной методике ускорила селекцию и привела к созданию (совместно с НПЦ НАН Беларуси по земледелию) сорта яровой мягкой пшеницы Инновация, адаптированного к почвенно-климатическим условиям нашей страны, обладающего высокой урожайностью, массой и качеством зерна, устойчивостью

к мучнистой росе и септориозу колоса. Сорт среднеспелый (вегетационный период 98–100 дней), среднестебельный (высота растений 80 см). Средняя за 3 года урожайность – 58,0 ц/га (на 12,3 ц/га выше контроля), крупнозерный (масса 1 тыс. зерен 45,1 г, натура зерна 785 г/л). Содержание сырого протеина в зерне – 16,6%, сырой клейковины – 38,2%.

После исследования 240 образцов озимой и 104 яровой пшеницы выявлена статистически достоверная зависимость между вариациями ряда генов и хлебо-



Рис. 3. Сорт озимой пшеницы Асима в питомнике (2018 г.)

пекарными качествами. Это дало возможность выделить перспективные генотипы для последующего использования в селекционных программах. Впервые в одной из линий яровой пшеницы был идентифицирован новый вариант гена, кодирующего Vx-субъединицу глютеина, получивший название Vx14.1 Он отличается от ранее известных форм аминокислотными заменами в нескольких позициях и представляет интерес для дальнейшего изучения [5].

Дополнительно исследован аллельный состав генов, влияющих на структуру зерна и хлебопекарные качества муки. У ряда образцов выявлены уникальные мутации, потенциально способствующие улучшению свойств изделий из дрожжевого теста. Анализ генов, регулирующих высоту растений, показал, что различные их аллели влияют не только на рост, но и на другие агрономически важные в условиях Беларуси характеристики. Особое внимание уделено генам, связанным со стрессоустойчивостью: выделен гаплотип, положительно влияющий на урожайность за счет увеличения массы

плодов. На основе полученных данных сформированы базы, характеризующие сорта озимой пшеницы по аллельному составу генов, ответственных за хлебопекарные качества и высоту растений. Это позволило выделить образцы, содержащие аллели с положительным влиянием на оба признака [6].

Результатом научной работы стал выведенный совместно с НППЦ НАН Беларуси по земледелию новый сорт озимой пшеницы Асима (рис. 3), в котором сочетаются аллели, обеспечивающие высокое качество зерна и оптимальную высоту растений. Сорт среднеспелый, с вегетационным периодом в 290–292 дня, с высокой устойчивостью к полеганию (8 балл.), высотой растений 0,8 м. Средняя за 3 года урожайность зерна составила 84,1 ц/га, что на 4,3 ц/га выше контроля (Элегия). Новый сорт пшеницы обладает высокой зимостойкостью, устойчив к основным видам грибных заболеваний. Хорошие хлебопекарные качества обеспечили ему признание – победу в конкурсе НАН Беларуси на лучший селекционный сорт сельскохозяйственных растений в 2024 г. Асима – сорт крупнозерный (масса 1 тыс. зерен 44,5 г), с содержанием сырого протеина 13,6%, клейковины – 25,3%, стекловидностью 64%.

В селекции ржи Институт предложил инновационную альтернативу традиционному колхицинированию – полиплоидизацию с использованием закиси азота (N_2O) для получения тетраплоидных форм без применения токсичных веществ [7]. Разработаны и внедрены сорта тетраплоидной ржи, такие как Белая Вежа, Росана, Камея 16, обладающие высоким потенциалом урожайности (на уровне 60–70 ц/га) [8].

Особый вклад был внесен в разработку ЦМС-основ (цитоплазматической мужской стерильности) для гибридной селекции ржи. Сформирована серия линий с высокой степенью стерильности и способности восстанавливать фертильность, пригодных для создания высокогетерозисных коммерческих гибридных сортов. Совместно с НППЦ НАН Беларуси по земледелию получены и переданы в испытания перспективные гибриды ржи Ризона и Батлейка.

В селекции масличных культур активно внедряются молекулярно-генетические методы. Приоритет – рапс, для которого разработаны молекулярные маркеры генов, контролирующих содержание ненасыщенных жирных кислот (олеиновой, линоленовой, эруковой), устойчивость к фомозу и морозостойкость [9]. Эти ДНК-маркеры, обеспечивающие независимое тестирование генов в А- и С-субгеномах рапса, применены для маркер-сопутствующей селекции новых сортов. С коллегами из НППЦ НАН Беларуси по земледелию созданы сорта озимого рапса Федор и Медей, устойчивые к фомозу, полеганию и осыпанию и равномерно созревающие; безэруковые низкоглюкозинолатные яровые сорта рапса Амур и Герцог (характеризуются высоким содержанием ценной олеиновой кислоты).

Исследования направлены на изучение механизмов устойчивости рапса к засухе, пониженным температурам с помощью биоинформатического анализа транскриптомов, которые высокоинформативны и прогностически ценны для изучения сложных генных сетей [10]. На основании комплексной оценки морфофизиологических признаков (содержания в листьях воды, хло-

рофилла, каротиноидов, диаметра устьичной апертуры) и аллельных вариантов генов, обуславливающих снижение потерь воды, выделены сорта, перспективные для изучения засухоустойчивости: Jet Neuf (Франция), Orig Senraps (Швеция), Триангель (KWS, Германия), Оникс (Россия), Август, Буян, Мартын (Беларусь) (рис. 4).

Секвенированы транскриптомы белорусских сортов Буян, Мартын, Август, Оникс. Это позволило с высокой точностью выявить различия в экспрессии генов, ассоциированных с устойчивостью к холоду и засухе, и маркировать образцы рапса по генам устойчивости к ключевым видам абиотического стресса.

Институт более 30 лет проводит исследования сои. Ведется работа по выявлению генов, ответственных за переносимость заморозков и раннее созревание, что критично для адаптации этой теплолюбивой культуры в северных широтах [11]. Применяются подходы ассоциативного картирования (GWAS) и анализ SNP-маркеров. Изучен большой коллекционный материал различного происхождения, сформирована коллекция перспективного для селекции сои «северного эко-типа», активно изучаются новые сорта культуры, появляющиеся в мире, для возможного использования при создании новых отечественных сортов [12]. Подбран и разработан набор ДНК-маркеров для ускорения отбора по раннеспелости, изучаются ДНК-маркеры, ассоциированные с содержанием белка. В институте создан ряд отечественных сортов этой культуры: Птичь, Пущанская и Василиса.

Культивирование подсолнечника в Беларуси – важная задача, требующая постоянного поддержания линейного материала

и выведения новых гетерозисных гибридов. В институте создан экологически адаптированный линейный материал подсолнечника, проведены испытания отечественных гибридных комбинаций. В результате селекционно-семеноводческой работы в государственный реестр внесены перспективные гибриды Поиск, Агат, Крок, Азимут. Подобран и апробирован оптимальный набор ДНК-маркеров для эффективной паспортизации и надежной идентификации сортов, гибридов и селекционных линий подсолнечника. Начаты работы по молекулярному маркированию в связи с устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессовым факторам [13].

В селекции картофеля – одной из стратегически важных сельскохозяйственных культур для продовольственной безопасности Беларуси – Институт генетики и цитологии сосредоточен на прорывной технологии – переходе от вегетативного размножения клубнями к семенному размножению гетерозисных гибридов, полученных в результате диплоидной селекции, признаваемой экспертами как направление будущего [14].

Данное направление развивается системно с 1990-х гг. За это время удалось в значительной мере решить проблемы с диплоидным картофелем и создать одну из лучших его коллекций. В частности, разработана и реализована программа по выведению высокофертильных диплоидных линий *S. tuberosum* – доноров фертильности и самосовместимости. Это необходимое звено для построения эффективных селекционных схем создания гибридного картофеля. Подготовлены и внедрены в практику новые эффективные методы межвидовой гибридиза-

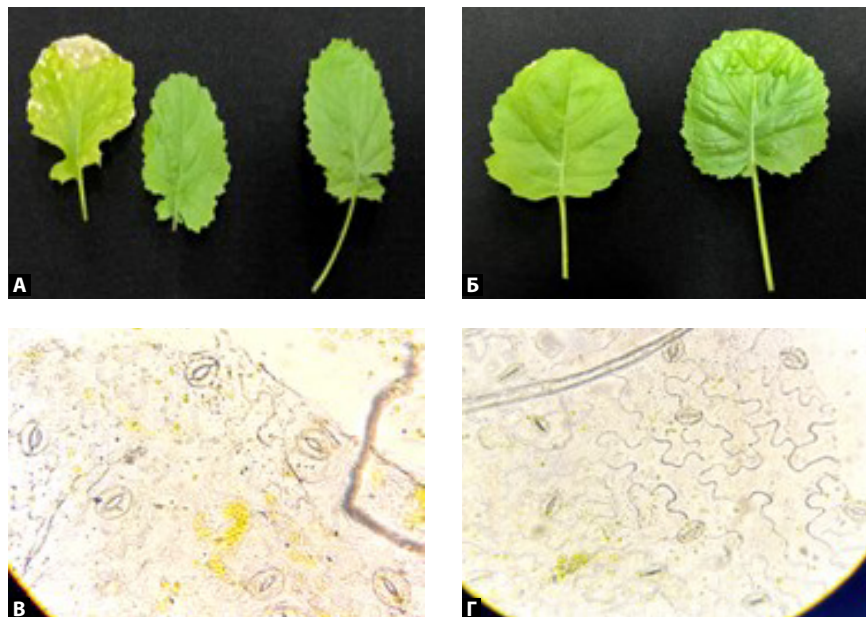


Рис. 4. Морфофизиологические различия устойчивых и чувствительных к засухе сортов рапса: а – устойчивый сорт Мартын; б – неустойчивый сорт Kodiak: листья рапса слева направо в условиях засухи (7,5% ПЭГ) и контрольных условиях; в, г – устьица сорта Мартын под световым микроскопом: в условиях засухи (7,5% ПЭГ) и контрольных условиях соответственно

ции с участием диплоидных клонов и диких видов, которые ранее практически не использовались в селекции. В результате получен ценный селекционный материал с признаками устойчивости к болезням и вредителям, неблагоприятным условиям [15]. Разработан методический инструментарий и патенты на изобретения, широко применяемые в сотрудничестве с профильным НПЦ по картофелеводству и плодоовощеводству. Диплоидные образцы, созданные в институте, включены в коллекцию международных генетических банков по картофелю с официальной передачей материала в рамках Нагойского протокола.

Среди приоритетных направлений – молекулярно-генетическое сопровождение селекции пасленовых культур, таких как томат, перец и баклажан. В лаборатории экологической генетики и биотехнологии

ведутся многолетние исследования, направленные на повышение продуктивности, устойчивости к болезням и пищевой ценности пасленовых за счет внедрения современных молекулярных технологий. На основе анализа полиморфизма 42 целевых генов томата, детерминирующих хозяйственно ценные признаки (устойчивость к грибным, бактериальным и вирусным заболеваниям, биохимический состав, лежкость, форма и окраска плодов, габитус растения, вкус, наличие функциональной мужской стерильности), были разработаны и апробированы 85 SCAR- и CAPS-маркеров (используются для идентификации аллелей, ассоциированных с признаками, востребованными в практической селекции). На них базируется технология маркерного отбора форм томата с высокими биохимическими и технологическими свойствами плодов, апро-

бириванная и внедренная в 2016 и 2023 гг. [16, 17].

Особое внимание уделяется регуляции вторичного метаболизма, в частности биосинтезу пигментов (антоцианов, каротиноидов), которые определяют не только окраску плодов, но и их антиоксидантные свойства. С использованием методов сравнительной геномики были выявлены новые аллели и гомологи генов, регулирующих биосинтез антоцианов у перца и баклажана на основе гомологии с генами Myb-транскрипционных факторов томата (в частности, *Anthocyanin 1*, *Atrvioletacea*). Изучен аллельный состав этих генов, созданы маркеры для селекции по признакам интенсивной окраски и повышенного содержания антиоксидантов. В общей сложности для перца и баклажана разработано более 20 маркеров, что существенно расши-

ряет возможности молекулярной селекции этих культур. Методы сравнительной геномики позволили выявить гены-гомологи (к *Ant1* томата) и у капусты. Разработаны молекулярные маркеры для выявления форм с высоким накоплением антоцианов у овощных культур *Brassica oleracea* L. (капуста белокочанная, цветная, листовая и др.) [18].

С помощью молекулярных маркеров и технологий целового отбора в институте выведены формы пасленовых с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ): транс-и цис-ликопина, β -каротина, лютеина, халкон-нарингенина, антоцианов. Это стало основой для новых продуктов, ориентированных на оздоровительное питание и персонализированную диетотерапию.

Совместно с учеными Белорусской государственной сель-

скохозяйственной академии (БГСХА) и Института овощеводства создано 63 сорта и гибрида томата, 18 сортов сладкого перца, 3 – острого перца, 1 гибрид баклажана. Среди томатов имеются сорта и гибриды с повышенным содержанием БАВ: Дзівосны, Беларускі малінавы, Блэк бриллиант, Бурштын, Смачны, Паспех, Ликопиновый, Малиновый коктейль, Ирбис, Ивис, Спатканне и Гелиодар.

Современная селекция сельскохозяйственных растений уверенно вступила в эру интеграции биотехнологий, молекулярной генетики и цифровых платформ. Внедрение новых подходов позволит Беларуси войти в число лидеров по применению геномных технологий в растениеводстве и обеспечить устойчивое развитие агропромышленного комплекса в условиях климатических и экономических вызовов. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Orlovskaya O., Dubovets N., Solovey L., Leonova I. Molecular cytological analysis of alien introgressions in common wheat lines derived from the cross of *Triticum aestivum* with *T. kiharae* // BMC Plant Biology. 2020. №20 (Suppl. 1).
2. Орловская О.А., Вакула С.И. [и др.]. Минеральный состав зерна линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184 (1).
3. Орловская О.А., Хотылева Л.В., Кильчевский А.В. Влияние интрогрессии чужеродного генетического материала на основные показатели качества зерна мягкой пшеницы. – Минск, 2024.
4. KASP-генотипирование локусов, ассоциированных с признаком «масса 1000 зерен» мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / В.А. Лемеш и др. // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2023. Т. 67, №3.
5. Изучение аллельного разнообразия генов HMW глютеинов сортов и линий пшеницы, используемых в селекционном процессе в Республике Беларусь, с помощью ПЦР-маркеров / Е.А. Фомина, С.В. Малышев и др. // Цитология и генетика. 2019. Т. 53, №4.
6. Фомина Е. А. Использование молекулярных маркеров в селекционном процессе озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) для выделения образцов, перспективных по аллельному составу генов, оказывающих влияние на хлебопекарное качество зерна и высоту растения. – Минск, 2019.
7. И.С. Гордей, О.М. Люсиков, И.А. Гордей. Зиготическая автополиплоидизация ржи (*Secale cereale* L.) // Цитология и генетика. 2019. Т. 53, №5.
8. Урбан Э.П., Карпович О.Н. [и др.]. Основные результаты селекции озимой тетраплоидной ржи в Беларуси // Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции в Беларуси. Достижения науки – производству: мат-лы науч.-практ. конф., посв. 15-летию НПЦ НАН Беларуси по земледелию (8–9 июля 2021 г., Жодино). – Минск, 2021.
9. Lemesh V.A., Mozgova G.V. [et al.]. The Use of Specific DNA Markers for the Identification of Alleles of the FAD3 Genes in Rape (*Brassica Napus* L.) // Russian Journal of Genetics. 2015. Vol. 51, №8.
10. Применение молекулярных и физиологических маркеров для комплексного исследования устойчивости представителей семейства *Brassicaceae* L. к абиотическому стрессу: холоду и засухе / Г.В. Мозгова, М.С. Парфенчик [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. – Минск, 2024.
11. Поиск ДНК-маркеров к признаку содержание белка у сои: сравнительное исследование группы сортов / М.Г. Синявская, А.С. Томашова [и др.]. Генетика, геномика, биоинформатика и биотехнология растений (PlantGen2025): 8-я Междунар. науч. конф. (2–5 июля 2025 г., Новосибирск): тезисы докладов. – Новосибирск, 2025.
12. Розенцвейг В.Е., Е.А. Аксенова [и др.]. Модель засухоустойчивого сорта сои для климатических условий Беларуси // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. – Минск, 2020. Т. 28.
13. Шатарнов О.П., Зайцев Н.К., Синявская М.Г. Селекция гибридов подсолнечника масличного для условий Беларуси / Мат-лы междунар. науч. конф. «Селекция и генетика культурных растений», 18.10.2023, посв. 100-летию кафедры генетики, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2023.
14. Ермишин А.П., Воронкова Е.В. Новая парадигма выращивания и селекции картофеля // Наука и инновации. 2020. №3.
15. Межвидовая гибридизация в селекции картофеля / А.П. Ермишин [и др.]. – Минск, 2021.
16. Технология маркер-сопутствующего отбора форм томата с высокими биохимическими и технологическими свойствами плодов: методич. рекомендации. – Минск, 2023.
17. Использование молекулярных маркеров, связанных с устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам среды, при создании селекционного материала томата и перца в Беларуси / О.Г. Бабак, Е.В. Дрозд [и др.] // Овощи России. 2025. №1.
18. D.A. Fateev, F.A. Berensen [et al.]. Study of the Myb114 Gene Polymorphism in the Cole Crops (*Brassica oleracea* L.) in Connection with Anthocyanin Biosynthesis Regulation Based on Comparison with the MYB Factors of Vegetable Nightshades (*Solanaceae*) // Russian Journal of Genetics. 2023. Vol. 59, №1.



Людмила Кабашникова,
завлабораторией прикладной
биофизики и биохимии Института
биофизики и клеточной
инженерии НАН Беларуси,
член-корреспондент

БИОГЕННЫЕ ИММУНОСТИМУЛЯТОРЫ — НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Обеспечение человечества продуктами питания — мировая проблема XXI века. В условиях роста населения, сопровождающегося уменьшением возделываемых площадей, истощаемостью ресурсов Земли, глобальными изменениями климата, она может быть решена только посредством прогрессирующей интенсификации растениеводства, которая базируется на трех главных составляющих: высокоурожайных сортах, значительном фоне минерального питания, защите растений [1]. Основа этой триады, безусловно, — генетический потенциал возделываемых культур, реализуемый посредством создания новых, более урожайных сортов. Однако их высокая продуктивность не всегда сочетается с другими полезными свойствами, в частности с устойчивостью к биотическим (болезням, вредителям) и абиотическим (низким и высоким температурам, засухе и др.) факторам.

Биотические стрессы, такие как патогены, вредители и конкуренция, — основные ограничивающие факторы сельскохозяйственного производства. Среди них фитопатогены и вредители — главные причины потерь урожая 5 наиболее распространенных сельскохозяйственных культур во всем мире (пшеница — 10,1–28,1%; рис — 24,6–40,9%; кукуруза — 19,5–41,1%; картофель — 8,1–21,0% и соя — 11,0–32,4%) [2].

В современном сельском хозяйстве до сих пор использовались две основные страте-

гии борьбы с болезнетворными микроорганизмами: селекция сортов на устойчивость и применение химических пестицидов. Однако селекционное направление требует времени, и поскольку многие патогены быстро адаптируются, многочисленные примеры показали, что такого рода устойчивость быстро преодолевается, если не является комбинированной. Подобным же образом применение пестицидов, препятствующих росту возбудителей болезней, вызывает проблемы, связанные с увеличением резистентности патогенов.

Третий способ заключается в том, чтобы повысить собственный врожденный иммунитет растений с помощью индукторов устойчивости (*plant resistance inducers, PRIs*), что имеет целый ряд привлекательных аспектов [3]. Поскольку PRIs действуют косвенно на патоген через врожденный иммунитет, они не токсичны для живых организмов, как в случае с пестицидами. Кроме того, многие PRIs обладают широким спектром действия, что в свою очередь уменьшает вероятность развития устойчивости патогенов в противовес их резистентности к пестицидам. Кроме того, PRIs могут дополнять существующие методы обработки последними, тем самым способствуя снижению их количества, необходимого для эффективного контроля заболеваний.

Таким образом, расширение сферы применения PRIs может сформировать будущую важную часть устойчивого развития сельскохозяйственного производства и обеспечить снижение химической нагрузки на агроэкосистемы.

Современные стратегии повышения защитного потенциала растений

Выживаемость растительного организма, обусловленная защитой от патогенов и вредителей, характеризует его внутренние

резервы. Возможности любого вредного агента, вызывающего заболевание или иные повреждения, также зависят от совместимости с растением-хозяином, его рецепторов и мест локализации токсинов, необходимых питательных веществ, факторов роста и распознавания [4].

В широком смысле конститутивная, или непрерывная, защита включает в себя множество заранее сформированных барьеров, таких как клеточные стенки, восковые эпидермальные кутикулы и кора, которые охраняют растение от инвазии, а также придают силу и жесткость всему организму. Индуцируемая защита подразумевает производство токсичных химических веществ, деградацию ферментов патогенов и программируемую гибель клеток. Обнаружение возбудителей является стимулом для запуска синтеза токсичных соединений или белков, связанных с защитой, из-за более высоких затрат энергии и потребности в органических веществах.

Растения борются с патогенами и травоядными животными двумя основными способами (рис. 1):

- *благодаря структурным характеристикам, действующим как физические барьеры;*

- *с помощью биохимических реакций в клетках и тканях, токсичных для возбудителей или создающих условия, подавляющие проникновение и развитие их в растении.*

Экзогенное применение регуляторов роста, обладающих иммуностимулирующими свойствами, – современная альтернатива повышения защитных механизмов растений в сравнении с использованием химических пестицидов.

Преимущества новой агробиотехнологии:

- *укрепление природных защитных механизмов;*
- *сокращение поллютантов:* остатки химикатов могут присутствовать в товарной продукции, что существенно минимизируется, когда происходит усиление собственных защитных механизмов растений;
- *устойчивость к пестицидам и фунгицидам:* из-за многократного использования одних и тех же химических фунгицидов и пестицидов у возбудителя/травоядного животного развивается устойчивость к этим веществам. Тогда контроль над заболеванием будет ослаблен, но загрязнение увеличится, и, следовательно, усиление иммунитета растений может быть лучшей альтернативой для их защиты;

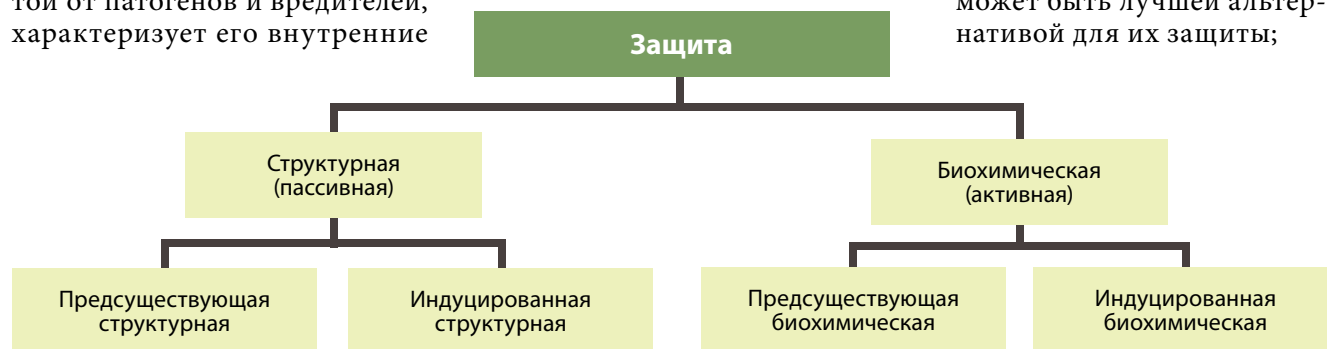


Рис. 1. Классификация механизмов защиты растений (адаптировано по [4])

■ **экономическая эффективность:** повышение собственной устойчивости культур требует затрат до тех пор, пока не будет достигнута максимальная защита от неблагоприятных факторов внешней среды, включая фитопатогены, что является эффективной альтернативой огромным инвестициям, вкладываемым в производство и применение химических средств.

Использование инновационных стратегий для усиления защитных механизмов растений открывает многообещающие возможности для развития устойчивого сельского хозяйства. Объединив научные знания с практическими аспектами, можно возделывать устойчивые культуры, которые будут процветать в разнообразных экологических условиях, в конечном итоге обеспечивая продовольственную безопасность и охрану окружающей среды для настоящего и будущих поколений.

Природные индукторы устойчивости

К числу природных индукторов базовой устойчивости относится группа молекул растительного происхождения, которые культуры узнают как сигналы, свидетельствующие о присутствии патогенов, в том числе фрагменты пектина, кутина, целлюлозы, ксилозы и других собственных защитных полимеров, высвобождаемых при действии гидролитических ферментов (целлюлаз, кутиназ, пектиназ)

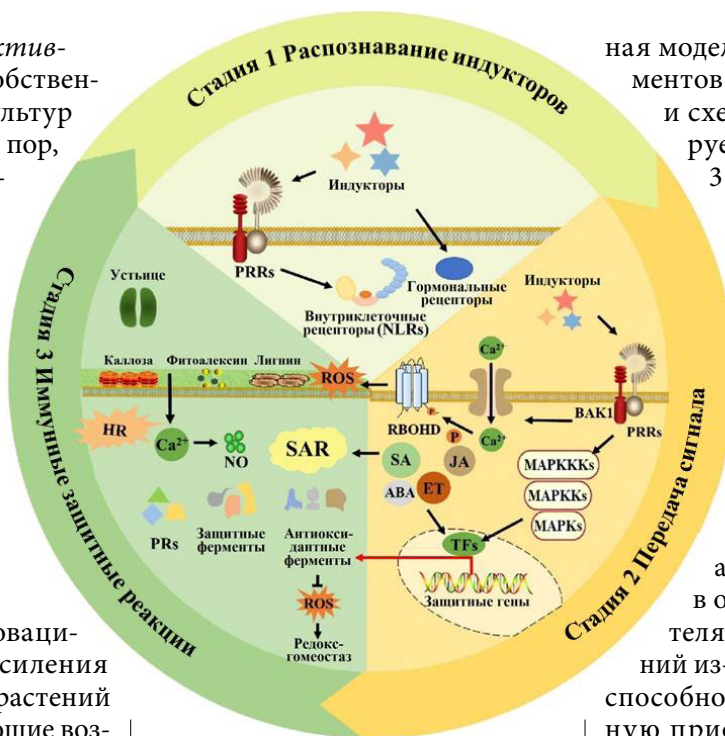


Рис. 2. Схема активации иммунитета растений (адаптировано по [5])

патогенов или самого растения. Его рецепторы способны идентифицировать собственные (эндогенные) молекулы, образующиеся в результате активности ферментов микроорганизмов. Ассоциированные с повреждением молекулы появляются прежде всего в апопласте растительных тканей и служат, как и неспецифические элиситоры микроорганизмов, индукторами базовой устойчивости. Образование таких эндогенных сигнальных молекул позволяет разрушенным или поврежденным клеткам передавать сигнал о своем состоянии другим клеткам и тканям (или даже системно – всем органам растения).

Индукторы иммунитета обладают незначительной прямой бактерицидной, противогрибковой или противовирусной активностью, однако они могут стимулировать иммунную систему растений. Наиболее разработан-

ная модель действия таких элементов представлена на рис. 2 и схематически иллюстрирует ключевые моменты 3 этапов (распознавание или обнаружение; передача сигнала или активация (модуляция); защитная реакция или эффективное сопротивление) [5].

Следует отметить, что в настоящее время природные индукторы устойчивости – предмет активных исследований в области борьбы с вредителями и болезнями растений из-за их универсальности, способности усиливать системную приобретенную устойчивость (systemic acquired resistance, SAR), общей низкой токсичности (табл. 1), что обеспечивает их лучшую переносимость сельскохозяйственными культурами и меньшее количество проблем со здоровьем человека, обычно связанных с традиционными стратегиями защиты [6].

Отечественные препараты на основе иммуностимуляторов

В Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси изучены молекулярно-клеточные механизмы действия природных индукторов болезнеустойчивости растений – салициловой кислоты (СК), β -аминомасляной кислоты (β -АМК) и β -1,3-глюкана на растения ряда злаковых, овощных и технических культур при патологических процессах, вызванных возбудителями корневых гнилей [7].

Впервые установлены стабилизирующие механизмы действия

экзогенной СК и кратковременной гипертермии на структурно-функциональное состояние биомембран растительной клетки при инфицировании грибным патогеном *Bipolaris sorokiniana*, о чем свидетельствует снижение проницаемости клеточных мембран для свободных нуклеотидов и скорости выхода ионов калия из клеток, а также более раннее защелачивание апопластического пространства у зараженных экземпляров. Кратковременная гипертермия и экзогенная СК вызывают в инфицированных растениях ячменя повышение уровня активных форм кислорода (АФК), в том числе пероксида водорода, за счет активации НАДФН-оксидазной системы в клетках мезофилла, что вызывает развитие

защитных ответных реакций, а именно возрастание экспрессии генов защитных белков – хитиназы (*cht2*) и β -1,3-глюканазы (*glu*), активацию ключевого фермента синтеза фенолов – фенилаланинаммоний лиазы и синтеза водорастворимых фенольных соединений; в инфицированных листьях накапливаются фотосинтетические пигменты, происходит стабилизация функциональной активности ФС II и восстанавливается стехиометрия пигмент-белковых комплексов ФС I и ФС II, что указывает на протекание адаптационных процессов на уровне фотосинтетических мембран. Научно обосновано применение салицилатов при возделывании ярового ячменя и разработанная высокоэффективная техно-

логия повышения устойчивости культуры к гельминтоспориозу с использованием препарата «Иммунакт-СК», обеспечивающая увеличение урожайности на 4 ц/га при минимизации экологических рисков [7].

Впервые установлены особенности протекания защитных реакций в растениях ярового ячменя, индуцированных β -АМК, при инфицировании грибным патогеном *Bipolaris sorokiniana*. Обнаружен защитный эффект β -АМК на процесс перекисного окисления липидов в мембранах культуры после заражения грибным патогеном, который сопровождается увеличением общего содержания АФК и пероксида водорода на фоне стабильной активности антиоксидантных

Индуктор	Растение	Вредитель	SA*	JA*	ET*	SAR	Защитные эффекты	Укрепление клеточной стенки	Окислительный цбаланс
Томат	Томат	<i>Botrytis cinerea</i>	+	+	+	H/O	+	+	+
	Арабидопсис	<i>Botrytis cinerea</i>	H/O	H/O	H/O	H/O	+	+	H/O
	Томат	<i>P.syringae</i>	H/O	+	H/O	H/O	+	+	H/O
Тиамин	Рис, арабидопсис	Грибные, бактериальные, вирусные инфекции	+	–	–	+	–	+	+
	Арабидопсис	<i>P. syringae</i>	–	–	–	+	+	+	+
	Томат	<i>Botrytis cinerea</i>	H/O	+	–	+	H/O	H/O	–
РАВА (парааминобензойная кислота)	Перец	CMV, <i>Xanthomonas</i>	+	–	H/O	+	+	H/O	H/O
Менадион (натрия бисульфит, MSB K3)	Арабидопсис	<i>P. syringae</i>	H/O	H/O	H/O	–	+	H/O	+
VOGs (летучие органические соединения)	Кукуруза, бобы, Арабидопсис	Насекомые	H/O	+	+	H/O	+	+	+
Ogs (олигогалактурониды)	Арабидопсис	<i>Botrytis cinerea</i>	–	–	–	–	+	H/O	+
Хитозан	Соя, томат, кукуруза	Грибные, бактериальные, вирусные инфекции	H/O	+	H/O	H/O	+	+	+
		<i>Colletotrichum sp</i>	H/O	+	H/O	H/O	+	+	+
		<i>Xanthomonas</i>	H/O	+	H/O	H/O	+	+	+
	Брокколи	<i>P. fluorescens</i>	H/O	+	H/O	H/O	+	+	+

Таблица 1. Природные индукторы и их эффекты на защитные механизмы растений (адаптировано по [6])

Примечание: (+) – активрует; (–) – не активрует; H/O – не определено; SA* (салициловая кислота), JA* (жасмоновая кислота), ET* (этилен) образуются в зависимости от сигнального пути (+) или не образуются (–)

ферментов (НАДФН-оксидазы и пероксидазы). Обнаружены сравнительно быстрые и обратимые изменения рН в листовых тканях растения, которые проявляются в защелачивании апопласта и закислении цитоплазмы в первые 30 мин. после введения β -АМК. Показано ее положительное влияние на биосинтез фотосинтетических пигментов в молодых листьях на синтетической ветви метаболизма и отсутствие такового в стареющих. Научно обосновано использование пленкообразующего состава, содержащего водорастворимый полимер (ВРП-3) и β -АМК в посевах ярового ячменя для повышения устойчивости и зерновой продуктивности культуры [7].

Установлено, что β -1,3-глюкан проявляет многостороннее положительное действие на растения томата и огурца, культивируемые в условиях малообъемной гидропоники в закрытом грунте, а также льна-долгунца и льна масличного; оказывает стимулирующий эффект на биосинтез фотосинтетических пигментов и фотохимическую активность ФС II; индуцирует накопление фенольных соединений в тканях культур, что имеет существенное значение для укрепления клеточных стенок, способствует генерации АФК, выполняющих сигнальную функцию и включающих естественные внутренние защитные механизмы [7].

В производственных условиях экспериментально доказано праймирующее действие препаратов «Иммунакт», содержащих природные иммуномодулирующие агенты (СК, β -АМК, β -1,3-глюкан), при выращивании ярового ячменя, превосходящее по эффективности стандартный фунгицид «Адексар». По томату и огурцу в условиях малообъемной гидро-

поники в защищенном грунте отмечена действенность регулятора роста «Иммунакт-ГК», ВСК против болезней и положительное влияние на урожайность овощей, превышающая стандартный «Экосил», ВЭ. Доказана высокая эффективность препарата «Иммунакт-ГК», ВСК в посевах льна-долгунца по сравнению с эталоном «Экосил», ВЭ, обеспечивающая повышение урожайности льносемян и льноволокна, а также качества льнопродукции. Аналогичный эффект прослеживается в посевах льна масличного. В целом результаты проведенных производственных испытаний показали высокую эффективность препаратов «Иммунакт» для защиты зерновых, овощных и технических культур, превышающую уровень стандартной технологии возделывания и обеспечивающую получение стабильных урожаев высокого качества.

В 2023 г. получил государственную регистрацию и рекомендован для применения на яровой и озимой пшенице комбинированный двухкомпонентный регулятор роста «Иммунакт-БИО», ВСК, созданный совместно с Институтом защиты растений. Препарат содержит β -1,3-глюкан и прилипатель ВРП-3, а также культуральную жидкость *Trichoderma* sp. D-11, стимулирующие рост растений и способствующие устойчивости к мучнистой росе. Внедрение «Иммунакт-БИО» в производство в 2024 г. обеспечило прибавку урожайности кондиционных семян яровой пшеницы (сорт Сударыня, с/э) на 6,4 ц/га на площади 50 га.

Выпуск регуляторов роста «Иммунакт-ГК», ВСК и «Иммунакт-БИО», ВСК в рамках лицензионного договора осуществляет ЧПУП «ЧервеньАгро» (Витебская обл., Докшицкий р-н, д. Парафьяново).

Перспективы создания новых средств защиты растений

Ввиду прикрепленного образа жизни и отсутствия специализированной иммунной системы растения, в отличие от животных, не могут избежать стресса и, следовательно, приобрели сложные стратегии для выживания в условиях биотических и абиотических повреждений [8]. Согласно биохимической теории коэволюционной «гонки вооружений», механизмы устойчивости к травоядным животным, насекомым-вредителям и фитопатогенам развились в результате появления вторичных метаболитов в ответ на давление со стороны этих организмов. Вместо сложной иммунной системы со специализированными антителами растения используют для защиты от вредных воздействий вторичные метаболиты, которых зарегистрировано на сегодня более 2 млн 140 тыс. (алкалоиды, фенольные соединения и терпеноиды). Их спектр классифицируется по биосинтетическому происхождению, функциям и структуре. Существует 5 основных категорий вторичных метаболитов: алкалоиды, производные жирных кислот и поликетиды, кофакторы ферментов, нерибосомальные полипептиды, терпеноиды и стероиды [8].

Низкомолекулярные антимикробные соединения, известные как фитоалексины, индуцируются биотическим стрессом или инфекцией как компоненты активных защитных механизмов у растений. Краеугольным камнем устойчивости к биотическому стрессу являются фитогормоны – растительные антибиотики, присутствующие



Рис. 3. Роль вторичных метаболитов растений в защите от биотического стресса (адаптировано по [8])

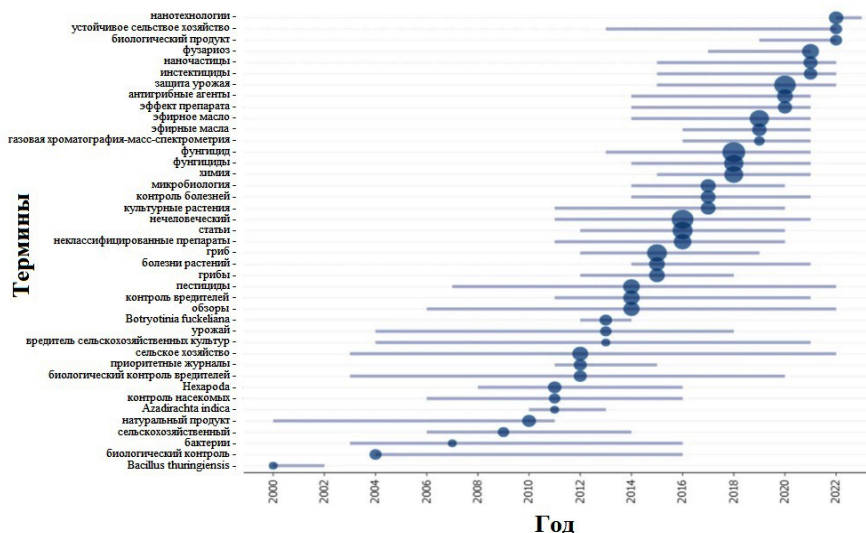
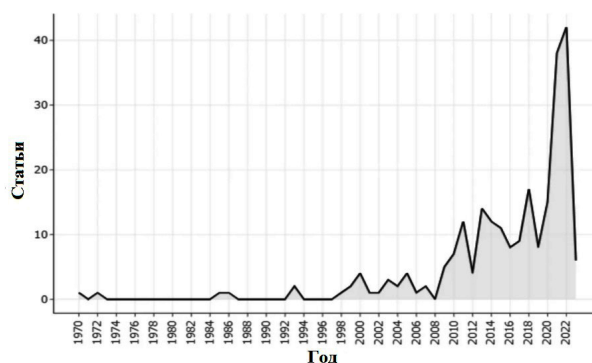


Рис. 4. Тенденция увеличения тематики исследований, посвященных применению растений для биологического контроля [адаптировано по 9]

Рис. 5. Ежегодные научные публикации (1970–2023 гг.) в области исследований, посвященных защите растений на основе вторичных метаболитов [адаптировано по 9].



в растительных тканях до заражения. Сапонины считаются фитоантиципинами у многих культур. На рис. 3 проиллюстрирована ключевая роль вторичных метаболитов в процессе защиты от биотического стресса.

Наиболее прогрессивная стратегия создания новых экологически безопасных средств защиты растений – использование растительных экстрактов, содержащих вторичные метаболиты (рис. 4, 5). По данным литературы уже определен 91 вид растений из 28 семейств с сильным потенциалом в качестве агентов биоконтроля. Семействами с наибольшим представительством являются *Lamiaceae* (яснотковые, 16 растений, 17,6%), *Solanaceae* (пасленовые, 11 растений, 12,1%) и *Ariaceae* (зонтичные, 7 и 7,7% соответственно). Листья (31%), надземные части (23%), семена (9%), цветы (4%) и луковицы (4%) наиболее часто применяют в качестве источников растительных препаратов для борьбы с патогенами сельскохозяйственных культур [9].

Наиболее активно это направление исследований развивается в таких странах, как Индия, Китай, Италия, Великобритания, США и Южная Африка, в которых выполнено большинство научных работ по использованию вторичных метаболитов в качестве средств защиты растений. Причем перечисленные страны, а также Мексика и Индия, лидируют по числу научных публикаций [9].

На рынке Беларуси присутствуют немногочисленные препараты, созданные на основе антимикробных метаболитов, которые в основном импортируются из России: «Росток», содержащий экстракты хвои сосны и ели, гуминовые кислоты торфа; «Новосил» и «Силк» с тритерпеновыми

кислотами из хвои пихты сибирской; «Альфастим», содержащий тритерпеновые кислоты; «НВ-101» (Япония, экспортер Россия), имеющий в составе вытяжки кипариса, гималайского кедра, сосны и подорожника; «Циркон» (Россия), изготовленный из эхинаеи пурпурной; «Агропон С» с комплексом биологически активных веществ и грибов эпифитов из женьшеня и облепихи (Украина).

В нашей стране на основе растительного сырья производится только несколько препаратов, обладающих иммуностимулирующим действием: «Экосил», ВЭ, «Экосил Микс», ВЭ, «Экосил Плюс», ВЭ (ЧПУП «ЧервеньАгро»), содержащие тритерпеновые кислоты из хвои пихты сибирской; «Экостим», ВК с тритерпеновыми

кислотами и L-аминокислотами (ООО «ШАУЭР ГРУПП»); «Мальтамин», Ж на основе органических веществ из ростков солода (ЗАО «Белнефлесорб»).

Разработка научных основ изготовления растительных экстрактов, обладающих антимикробными свойствами, – актуальная задача современной агробиотехнологии, решение которой позволит получить эффективные и экологически безопасные средства защиты растений нового поколения. **И**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Санин С. С. Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита растений в центральном районе России / С. С. Санин [и др.] // Агрохимия. 2020. №10. С. 36–44.
2. The global burden of pathogens and pests on major food crops / S. Savary [et al.] // Nature Ecology and Evolution. 2019. Vol. 3, №3. P. 430–439.
3. Plant Resistance Inducers against Pathogens in Solanaceae Species – From Molecular Mechanisms to Field Application / E. Alexandersson [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2016. Vol. 17, №10. P. 1–25.
4. Soundarya H. L. Plant Armor: Strengthening Natural Defense for Biotic Stresses / H. L. Soundarya, Akshata, Tejashwini // Just Agriculture. 2024. Vol. 4. №8. P. 253–259.
5. Join the green team: Inducers of plant immunity in the plant disease sustainable control toolbox / F. Zhu [et al.] // Journal of Advanced Research. 2024. Vol. 57, №2. P. 15–42.
6. Priming of plant resistance by natural compounds. Hexanoic acid as a model / P. Aranega-Bou [et al.] // Frontiers in Plant Science. 2014. Vol. 5. P. 1–12.
7. Природные индукторы устойчивости растений к фитопатогенам: научные и практические аспекты применения / Л. Ф. Кабашникова [и др.] // Национальная академия наук Беларуси, Институт биофизики и клеточной инженерии. – Минск, 2021. – 58 с.
8. Plant Secondary Metabolites: The Weapons for Biotic Stress Management / J. M. Al-Khayri [et al.] // Metabolites. 2023. Vol. 13, №6. P. 1–37.
9. Plants as an alternative to the use of chemicals for crop protection against biotic threats: trends and future perspectives / A. O. Aremu [et al.] // European Journal of Plant Pathology. 2024. Vol. 170. P. 711–766.

Экологические, экономические и технологические преимущества микробных биотехнологий обуславливают все более широкое их применение в аграрной отрасли. Они становятся приоритетными в связи с такими глобальными процессами, как рост населения, изменение климата, истощение природных ресурсов. Общемировые тенденции свидетельствуют о значительном увеличении инвестиций в исследования и внедрение методов, позволяющих производить биопрепараты и добавки для повышения плодородия почв и продуктивности животных, борьбы с вредителями и болезнями растений и животных.

Микробные биотехнологии в сельскохозяйственном производстве



Александр Шепшелев,
директор Института
микробиологии НАН Беларуси,
кандидат технических наук,
доцент



Елена Болотник,
заместитель директора по
научной и инновационной
работе, кандидат
биологических наук



Зинаида Алещенкова,
главный научный
сотрудник, доктор
биологических наук,
профессор

По данным Международного союза по защите растений (ISPP), объем рынка биологических средств защиты растений в 2022 г. перешагнул отметку в 6 млрд долл., и прогнозируется его увеличение к 2030 г. до 15 млрд благодаря росту спроса на экологически чистые продукты. Согласно отчету FAO, биопрепараты способствуют снижению использования химических пестицидов на 30–50%, а микробные удобрения позволяют повысить урожайность зерновых культур на 10–20%. В странах Европы доля таких удобрений в общем объеме внесенных уже составляет около 15%, а в США – около 12%, что свидетельствует о растущем признании их эффективности.

Применение микроорганизмов содействует минимизации зависимости от химических удобрений и пестицидов, негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека, а также росту устойчивости агросистем к климатическим изменениям. В целом мировой рынок микробных биотехнологий для сельского хозяйства демонстрирует ежегодный рост около 12–15%, что подтверждает их важность и перспективность для аграрного сектора.

В Институте микробиологии НАН Беларуси более 50 лет выполняются исследования по созданию и внедрению микробных препаратов для различных отраслей народного хозяйства, в том числе агропромышленного комплекса. К таким разработкам относятся микробные удобрения, средства защиты растений (с 2022 г. данное направление развивается в ГНПО «Химический синтез и биотехнологии»), кормовые добавки, компоненты ветеринарных препаратов и др.

Микробные удобрения

Одним из самых захватывающих научных достижений в области растительно-микробного взаимодействия за последнее десятилетие стало установление того факта, что разнообразные и чрезвычайно активные эндофитные микробные сообщества не просто являются безучастными «пассажирами» растений, а играют важную роль в их росте, развитии и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам [1]. Существуют различные механизмы стимуляции эндофитами процессов жизнедеятельности растения-хозяина: способности к фиксации атмосферного азота, синтезу сидерофоров, фитогормонов, ферментов, витаминов, осмопротекторов, сольюбилизации минералов, таких как фосфор, деструкции токсических веществ и др. [2].

Уникальные штаммы эндофитных бактерий могут быть использованы непосредственно для инокуляции семян, обработки вегетирующих растений, поскольку уменьшают негативное влияние стресс-факторов за счет активной колонизации внутренних тканей и последующего позитивного биохимического и физиологического воздействия.

Разработанный в Институте микробиологии на основе азотфиксирующего и фосфатсольюбилизирующего эндофитных бактериальных штаммов *Rahnella aquatilis* БИМ В-1916 Д и *Pseudomonas brassicacearum* БИМ В-1917 Д препарат «Грамисил» для предпосевной обработки семян (1 и 2 л/т семян) и растений озимой пшеницы по вегетации (4 л/га) обеспечивает увеличение урожая зерна на 5,2 ц/га (15%) и 4,7 ц/га (14%) соответственно (рис. 1).



Рис. 1. Влияние микробного препарата «Грамисил» на рост озимой пшеницы: А – контроль, В – опытная делянка

Рост спроса на растительные белки и экологически чистые продукты подстегивает увеличение посевных площадей под зернобобовые. Перспективная нетрадиционная культура для почвенно-климатических условий Беларуси – соя (*Glycine max* (L) Mer.). Это высокобелковое масличное растение в симбиозе с клубеньковыми бактериями обеспечивает накопление до 200 кг азота/га за сезон и является хорошим предшественником для зерновых. Чтобы снизить себестоимость дорогих семян и повысить рентабельность возделывания сои в условиях нашей страны, целесообразно использовать микробные препараты на основе эндофитных микроорганизмов. В Институте микробиологии разработан микробный инокулянт на основе азотфиксирующего ризобияльного *Bradyrhizobium japonicum* БИМ В-743 и фосфатсольюбилизирующих неризобияльных эндофитных бактерий сои *Agrobacterium tumefaciens* БИМ В-1315Г и *Pseudomonas brassicacearum* БИМ В-1228 Д, эффективный как для обработки семян, так и вегетирующих растений (рис. 2).

Он обеспечивает увеличение зеленой массы до 17%, количества стручков – до 83%, зерен – до 50%.

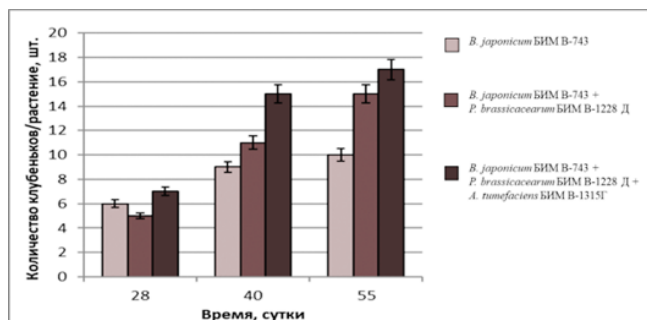


Рис. 2. Влияние обработки семян сои микробным инокулянтом на нодулирующую способность растений (в условиях светокультуры)

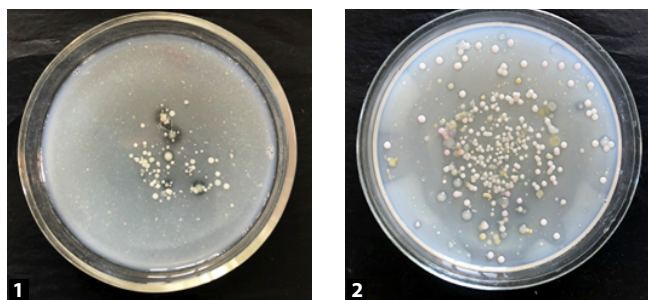


Рис. 3. Влияние обработки семян рапса микробным препаратом «Бактопин» (4 л/т) на микробное сообщество фосфатсолубилизирующих бактерий ризосферы (фаза плодообразования, разведение 10–5): 1 – фосфатсолубилизирующие микроорганизмы ризосферы растений рапса, семена которых обработаны микробным препаратом «Бактопин»; 2 – контроль без обработки

Естественные представители микробиоты внутри растений – ризобияльные и неризобияльные эндифиты, благодаря чему обработка ими семян и вегетирующих растений позволяет получить экологически чистую продукцию.

Рапс – важная и коммерчески значимая для республики масличная культура. В связи с тем, что она требовательна к азотному и фосфорному питанию, уровень содержания этих элементов в верхней части пахотного слоя можно увеличить путем

внесения микробного препарата «Бактопин», содержащего азотфиксирующий штамм бактерий *Rahnella aquatilis* БИМ В-704Д, фосфатсолубилизирующий бактериальный штамм *Pseudomonas putida* БИМ В-702Д и арбускулярные микоризные грибы рода *Glomus*.

Как предпосевная обработка семян (4 л/т семян), так и внесение препарата в процессе вегетации растений (4 л/га) повышают общую биогенность ризосферы культуры в среднем в 1,7 раза (рис. 3); у озимого рапса продуктивность увеличивается на 15,7%, у ярового – на 10,6%.

В последнее время внимание ученых привлекают микроорганизмы, продуцирующие брассиностероиды (стероидные фитогормоны), необходимые для нормального роста и развития сельскохозяйственных культур, а также их адаптации к биотическим и абиотическим стрессам, перспективные для создания микробных препаратов, стимулирующих рост растений и повышающих их стрессоустойчивость. В литературе описаны только 2 случая образования брассиностероидов у микроорганизмов – у *Streptomyces* spp. и у морских бактерий. Сотрудниками Института микробиологии и Института биоорганической химии НАН Беларуси впервые установлена способность к продуцированию брассиностероидов у 3 выделенных солеустойчивых бактерий: *Priestia megaterium* БИМ В-1314 Д, *Rhodococcus jostii* БИМ В-1353 Д и *Pseudomonas koreensis* ФП2/1. Штаммы обладают комплексом уникальных свойств: солубилизируют фосфат кальция, образуют осмопротекторы – пролин и бетаин, синтезируют фитогормоны, индолил-3-уксусную кислоту (ИУК), обладают азотфиксирующей активностью, засухоустойчивостью, а также невосприимчивостью к углеводородам нефти и ионам тяжелых металлов.

Данные штаммы планируется использовать для разработки биотехнологий получения микробных препаратов, обеспечивающих адаптацию сельскохозяйственного производства к условиям ресурсных ограничений и изменяющегося климата.

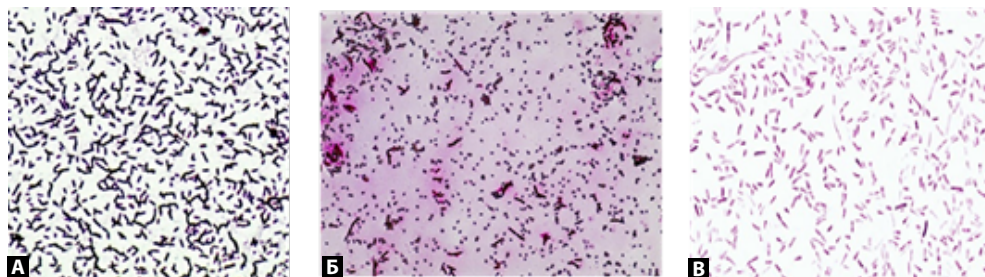


Рис. 4. Вид клеток (увеличение в 1000 раз) штаммов *P. megaterium* БИМ В-1314 Д (а) и *R. jostii* БИМ В-1353 (б), *P. koreensis* ФП2/1 (в)

Микробные кормовые добавки

Качественная кормовая база – важнейший элемент современного интенсивного животноводства. В структуре себестоимости продукции доля кормов при производстве молока составляет 50–55%, говядины – 65–70%, свинины – 70–75%.

Пробиотические кормовые добавки – неотъемлемая часть рационов животных и птицы – призваны улучшать качество и конкурентоспособность сельскохозяйственной продукции, повышать эффективность производства. Пробиотики в составе кормов играют важную роль для здоровья животных, укрепляют их иммунитет, увеличивают перевариваемость кормов, снижают потребность в антибиотиках. В Институте микробиологии разработан ряд новых пробиотических составов на основе активных штаммов молочнокислых бактерий и бифидобактерий, выделенных из природных источников, а также полученных путем селекции по признакам устойчивости к желчи, кислотам, продукции биологически активных веществ, ферментов.

Кормовая добавка «Полтрибак» содержит лиофильно высушенные клетки молочнокислых бактерий и бифидобактерий, обладающие антимикробной активностью по отношению к возбудителям сальмонеллеза. Эффективность бактериальной добавки при экспериментальном заражении птицы сальмонеллами составила 60%. При использовании средства отмечено повышение среднесуточного прироста по периодам выращивания на 4,9%, живой массы цыплят – на 4,8%, снижение затрат корма – на 4,5%, увеличение индекса эффективности – на 32%.

В состав кормовой добавки «Румибакт» входят пропионовокислые бактерии – природные компоненты рубцового содержимого молочных и мясных животных, способные утилизировать молочную кислоту и тем самым содействовать снижению риска возникновения ацидозов. Использование средства в составе комбикормов повышает молочную продуктивность на 3,6% в сравнении с контролем, в пересчете на базисную жирность – на 7,0%, а также жирно- и белкомолочность – на 0,12% и 0,08% соответственно. При этом в молоке снижается уровень соматических клеток на 10,0%, оно характеризуется отличным вкусом и запахом, соответствующим сорту «Экстра».

Многофункциональная кормовая добавка «Альфа-лактим», сочетающая свойства фермента и пробиотика, применяется в составе кормов с высоким уровнем α -галактозидов для свиней. Лизофи-

лизованные клетки молочнокислых бактерий, продуцирующие α -галактозидазы, обеспечивают гидролиз трудноусвояемых поли- и олигосахаридов с $\alpha(1\rightarrow6)$ -гликозидными связями (галактоманнаны, мелибиоза, раффиноза, стахиоза, вербаскоза) бобовых и бобово-злаковых растений до моносахаров, их усвоение и использование организмом в качестве источника энергии, ограничивая поступление олигосахаридов в толстый кишечник в нерасщепленном виде, где они подвергаются анаэробному бактериальному гидролизу с образованием газов. Применение добавки способствует увеличению живой массы животных на 4,5%, среднесуточного прироста – на 11,4%, снижению затрат корма на 1 кг прироста живой массы – на 11,5%.

Кормовая добавка «Металактим» – бесклеточный фильтрат выращенных в жидкой питательной среде пробиотических бактерий, содержит продукты метаболизма и клеточные компоненты гомо- и гетероферментативных молочнокислых и пропионовокислых бактерий. Обладает пребиотическим эффектом и антимикробной активностью по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям, мицелиальным и дрожжевым грибам, вызывающим заболевания животных и порчу кормов. Выпаивание телят добавкой способствует увеличению их живой массы на 4,9%, среднесуточного и абсолютного приростов – на 12,5% в сравнении с контролем.

Кормовые добавки на основе активных дрожжевых грибов

Одно из наиболее перспективных решений в обеспечении полноценного и сбалансированного питания животных – использование добавок, содержащих активные (живые) дрожжи. Включение их в рацион способствует нормализации микрофлоры желудочно-кишечного тракта, предотвращает пищеварительные расстройства, снижает риск инфекционных заболеваний. Это, в свою очередь, укрепляет иммунную систему, развивает стрессоустойчивость, улучшает репродуктивные показатели и общее состояние животных. Применение добавок сопровождается экономическим эффектом, который обусловлен увеличением продуктивности, сохранности поголовья и совершенствованием качества животноводческой продукции. Кроме того, препараты повышают усвояемость кормов, минимизируют их расход и уменьшают объем навоза, что поддерживает экологическую устойчивость регионов с интенсивным животноводством [3–5].

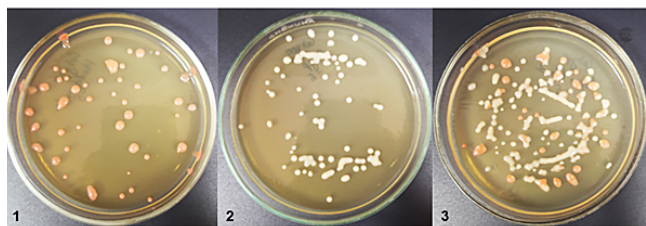


Рис. 5. Дрожжевые грибы *Rhodotorula species* (1), *Cryptococcus flavescentis* (2) и их консорциум в кормовой добавке «Полиэкт» (3)

Объем выпуска кормовых добавок на основе активных дрожжей (преимущественно различные штаммы *Saccharomyces cerevisiae*) увеличивается на 5–10% ежегодно. Наиболее известны на мировом рынке продукты зарубежных производителей – LALLEMAN D Inc. и ALLTECH, (США); BIOTAL (Великобритания); ANGEL YEAST CO., LTD (Китай); Mg 2 MIX и LESAFFRE (Франция); Nature S. A. и Lliça de Vall (Испания) и др. Наиболее сложным по компонентному составу является «Естур» (YEASTURE) компании Cenzone Tech Inc. (США), содержащий живые клетки 3 штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и их метаболиты, а также пробиотики (*Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* и *Streptococcus faecium*), экстракт дрожжевых клеточных стенок (смесь β -1,3- $\rightarrow$ 1,6-О-глюкана и маннанолигосахаридов) и ферменты микробного происхождения, гидролизующие структурные компоненты растительной клеточной стенки.

В Институте микробиологии НАН Беларуси на основе монокультуры живых дрожжей рода *Cryptococcus* разработаны первая в нашей стране кормовая добавка «КриптоЛайф», а затем с использованием специально подобранных штаммов дрожжевых грибов *Rhodotorula* sp. и *Cryptococcus flavescentis* – «Полиэкт» полифункционального действия в жидкой и сухой товарной форме, оказывающий пребиотическое, сорбционное, иммуномодулирующее, гепатопротекторное действие, повышающий среднесуточный прирост живой массы телят и цыплят-бройлеров на 6,5–12,1% при снижении расхода кормов на единицу продукции на 4–8%.

Препараты для силосования растительного сырья

Один из наиболее результативных и экологически безопасных способов снижения потерь и повышения качества и питательной ценности кормов при силосовании – использование биопрепаратов для направленного регулирования молочнокислого брожения.

Максимальное стимулирование этого процесса позволяет наиболее успешно трансформировать углеводы в молочную кислоту, минимизировать потери белка и других питательных веществ. В то же время в составе естественной эпифитной микрофлоры исходной растительной массы содержание молочнокислых бактерий часто недостаточно для протекания быстрой ферментации и получения качественного корма. Сократить потери при силосовании и повысить качество корма помогают многие приемы, в том числе внесение в зеленую массу биологических препаратов как один из наиболее эффективных и экологически безопасных способов.

В Институте микробиологии разработаны биопрепараты «Лаксил-М», «Лаксил-МС», «Лаксил-МС2» для улучшения качества и аэробной стабильности силосованных кормов из растительного сырья (кукуруза, злаковые травы, бобово-злаковые травосмеси и др.). Они представляют собой консорциумы на основе живых культур молочнокислых бактерий рода *Lactobacillus*. В составе биоконсервантов выступают специально отобранные штаммы молочнокислых бактерий с высокой энергией роста и активностью кислотообразования, выделенные из растительной массы. Более того, бактерии обладают активностью ферментов, которые могут расщеплять сложные растительные углеводы, увеличивая их биодоступность.

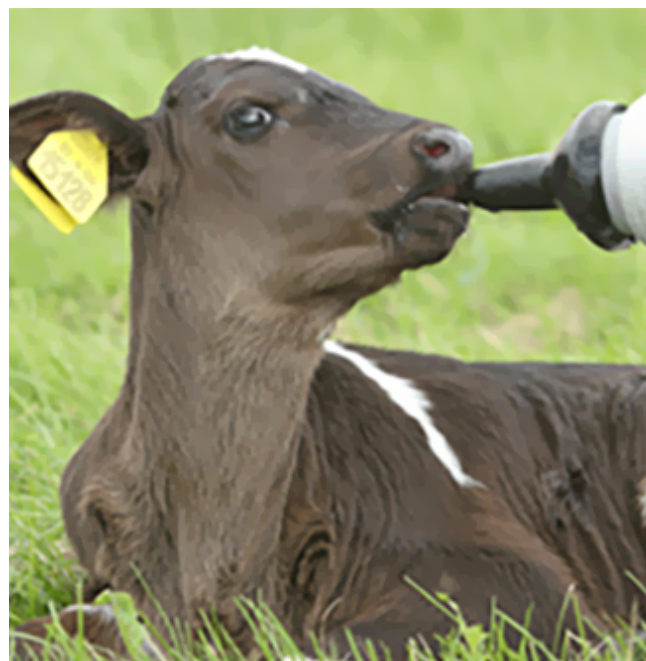


Рис. 6. Упрощенная схема получения рекомбинантной вакцины

Затраты на 1 т силоса при использовании отечественных биопрепаратов в 8–10 раз ниже по сравнению с сухими заквасками и на 20–80% – жидкими биоконсервантами импортного производства, а по своей эффективности им не уступают.

Микробные биотехнологии в диагностике и лечении заболеваний сельскохозяйственных животных

Инфекционные болезни рыб, в том числе бактериальной этиологии, наносят значительный ущерб рыбоводческим хозяйствам во всем мире, приводят к потере до 30% продукции в Китае, Индии и Вьетнаме. Перечень бактериальных возбудителей болезней очень широк и включает как грамотрицательные (*Aeromonas* spp., *Pseudomonas* spp., *Edwardsiella* spp., *Flavobacterium* spp., *Vibrio* spp., *Shewanella putrefaciens*), так и грамположительные (*Streptococcus* spp., *Mycobacterium* spp., *Lactococcus garvieae*) бактерии [6–8].

Важная роль в предотвращении распространения бактериозов отводится диагностике. Наиболее перспективный ее метод – полимеразная цепная реакция (ПЦР) с видоспецифичными праймерами, позволяющая обнаруживать патогены у рыб с явными клиническими признаками и скрытым бактерионосительством. Разработке методов ПЦР-детекции уделяется большое внимание в США, Китае, Турции, Испании, Греции и др.

Учитывая современные мировые тенденции, Институтом микробиологии НАН Беларуси совместно с Институтом рыбного хозяйства проведена молекулярно-генетическая идентификация наиболее распространенных в рыбоводческих хозяйствах Беларуси бактериальных патогенов и разработан основанный на высокоспецифичном и чувствительном ПЦР-анализе и не имеющий аналогов метод комплексной диагностики заболеваний рыб. Он характеризуется широким спектром выявляемых бактерий (9 видов), возможностью одновременной детекции нескольких патогенов, быстротой и высокой производительностью исследований, возможностью применения для исследования биологического материала особей с клиническими симптомами и без них на ранних стадиях заболевания с целью выявления бактериальных патогенов в водной среде и в рыбопосадочном материале для подбора эффективной терапии. Все это обуславливает снижение уровня гибели рыбы и повышение качества получаемой продукции.

Развитие биотехнологий в последние десятилетия открыло новые горизонты в профилактике инфекционных заболеваний животных. Одно из наиболее перспективных направлений – создание и применение рекомбинантных вакцин. Они, в отличие от традиционных, содержащих инаktivированные или аттенуированные возбудители, разрабатываются с использованием методов генной инженерии, что позволяет точно контролировать состав и свойства антигенов. Это существенно снижает риск возникновения побочных реакций, повышает специфичность иммунного ответа и обеспечивает высокий уровень биобезопасности.

Рекомбинантные вакцины в животноводстве имеют ключевое значение для снижения экономических потерь, предотвращения зоонозных вспышек, поддержания продовольственной безопасности. Помимо эффективного излечения высококонтагиозных и экономически значимых заболеваний такие вакцины открывают путь к созданию мультивалентных препаратов, объединяющих несколько антигенов в одной формуле, что упрощает профилактические мероприятия и снижает затраты на их производство. Использование рекомбинантных вакцин в ветеринарной практике – важный шаг к безопасному предотвращению инфекционных заболеваний, что отвечает современным требованиям к биотехнологическим продуктам в аграрном секторе.

Учитывая актуальные тенденции в области вакцинопрофилактики, в Институте микробиологии разрабатываются генно-инженерные штаммы-продуценты иммуногенных антигенов, которые могут быть включены в рекомбинантные вакцины и соответствующие диагностические наборы.

С целью создания отечественной вакцины для специфической профилактики бактериальных энтеритов КРС в 2022 г. запатентован рекомбинантный штамм-продуцент субъединицы В термолabile токсина *Escherichia coli*. С использованием данного белка совместно с Институтом экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелесского разработана и зарегистрирована инаktivированная эмульгированная вакцина «Колитокс-ЛТ» для профилактики колибактериоза и клебсиеллеза КРС. Колибактериоз (эшерихиоз) молодняка крупного рогатого скота – остро протекающая зоонозная болезнь, проявляющаяся септицемией, токсемией и энтеритом, обезвоживанием организма, поражением центральной нервной системы – причина значительных экономических потерь, связанных с отставанием телят в росте и развитии, их выбытием или падежом. Ежегодно ветеринарные диагностические учреждения

Беларуси проводят до 30 тыс. лабораторных исследований на эшерихиоз, около 35% приходится на долю молодняка КРС.

Создан рекомбинантный штамм-продуцент F1-белка респираторно-синцитиального вируса (РСВ) КРС, который используется в качестве компонента вакцины против данного инфекционного агента. РСВ КРС наносит серьезный экономический ущерб животноводству за счет снижения скорости роста животных, затрат на лечение, диагностические и профилактические мероприятия. Наиболее эффективна в деле предотвращения заболевания, особенно у молодняка, безусловно, вакцинация.

Одно из важных направлений современной вакцинологии – биотехнологическое получение вакцин на основе нуклеиновых кислот. Учеными Института микробиологии сконструирован бактериальный штамм-носитель универсальной генетической конструкции, необходимой для быстрого создания мРНК-вакцин человека и животных против различных инфекционных патогенов, при использовании которого разработан прототип мРНК-вакцины против РСВ КРС. Предварительные исследования на мышах продемонстрировали его иммуногенные свойства, что свидетельствует о возможности дальнейшего практического применения вакцины.

Изыскания в области микробных биотехнологий для сельского хозяйства – наиболее перспективное направление современной агробиотехнологии, а работы белорусских ученых в данном поле ведутся на самом высоком уровне в русле мировых тенденций. 

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liu H. Inner Plant values: diversity, colonization and benefits from endophytic bacteria / H. Liu [et al.] // Front Microbiol. 2017. V. 8. P. 1–17.
2. Васильева Е.Н. Эндوفитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве / Е.Н. Васильева [и др.] // Экологическая генетика. 2019. Т. 17, №1. С. 19–32.
3. Лобанок А.Г. Дрожжи как основа биологически активных кормовых добавок про- и пребиотического действия / А. Г. Лобанок [и др.] // Вести НАН Беларуси. Сер. биол. наук. 2014. №1. С. 17–22.
4. Tian X. Effects of dietary yeast β -glucans supplementation on growth performance, gut morphology, intestinal *Clostridium perfringens* population and immune response of broiler chickens challenged with necrotic enteritis / X. Tian [et al.] // Animal Feed Science and Technology. 2016. Vol. 215. P. 144–155.
5. Effect of yeast *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on serum antioxidant capacity, mucosal sIgA secretions and gut microbial populations in weaned piglets / C. Zhu [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. 2017. Vol. 16, N9. P. 2029–2037.
6. Mohd-Aris A. Live vaccines against bacterial fish diseases: a review / A. Mohd-Aris [et al.] // Veterinary World. 2019. Vol. 12(11). P. 1806–1815.
7. Irshath A. A. Bacterial pathogenesis in various fish diseases: recent advances and specific challenges in vaccine development / A. A. Irshath [et al.] // Vaccines (Basel). 2023. Vol. 11(2). Art. 470. Doi: 10.3390/vaccines11020470.
8. Austin B. Methods for the diagnosis of bacterial fish diseases / B. Austin // Marine Life Science & Technology. 2019. Vol. 1. P. 41–49.



Марина Мандрик-Литвинкович,
заведующий отраслевой лабораторией ГНПО «Химический синтез и биотехнологии», кандидат биологических наук, доцент



Эмилия Коломиец,
генеральный директор ГНПО «Химический синтез и биотехнологии», академик

Инновации в решении проблемы стабилизации фитосанитарного состояния агрозкосистем

В настоящее время потери урожая сельскохозяйственных культур под действием фитопатогенных микроорганизмов достигают 30–60%. Для борьбы с болезнями растений накоплен значительный арсенал приемов и средств, среди которых агротехнические, химические, селекционно-генетические и биологические. Химический метод защиты растений пока продолжает занимать ведущее место, особенно в системах интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Однако широкое использование пестицидов и агрохимикатов приводит к снижению плодородия почв и дестабилизации фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий, при этом изменяется структура и нарушается равновесие в сообществах патогенных и полезных микроорганизмов, в результате чего количество вредоносных видов достигает экономически опасного уровня [1]. Так, к настоящему времени мировые площади деградированных и кондуктивных (благоприятных для развития фитопатогенов) почв превысили 1,2 млрд га, а прямые убытки от почвоутомления, фитотоксичности земель и вредоносных агентов составляют около 25% потерь мирового урожая [2].

В этой связи внедрение и применение биотехнологий в агропромышленном секторе является приоритетом государственной политики многих стран и служит залогом повышения эффективности сельскохозяйственного производства и стабилизации экологической ситуации в мире.

В нашей стране деградация земель, лесов и природных комплексов, а также их радиоактивное, химическое и биологическое загрязнение признаны одними из основных угроз национальной безопасности (Указ Президента от 09.11.2010 г. №575). Актуальность этих вопросов отмечена и в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2030 г. [3, 4], что инициирует проведение исследований в данном направлении. С этой целью в ГНПО «Химический синтез и биотехнологии» (далее Объединение) создана отраслевая лаборатория молекулярной диагностики и регуляции почвенных и водных микробоценозов, деятельность которой направлена на экологизацию защитных мероприятий, поддержание плодородия почв сельскохозяйственного назначения, сохранение городских ландшафтов и водных экосистем.

Исследования показали, что для разработки экологически безопасных и экономически рациональных стратегий защиты растений необходима эффективная система мониторинга возбудителей заболеваний. В этой связи интерес вызывает видоспецифическая ПЦР-диагностика, позволяющая в кратчайшие сроки на ранних стадиях заболевания провести точную детекцию и идентификацию фитопатогенов [5]. Так, экспериментальным путем показано, что даже при незначительных внешних проявлениях заболевания ПЦР-анализ выявляет в образцах огурца целый спектр возбудителей болезней – угловатой бактериальной пятнистости листьев, серой

гнили, сухой и бурой оливковой пятнистости и фузариозного увядания, что обуславливает необходимость разработки и своевременного применения эффективных средств их контроля, в том числе препаратов на основе консорциума штаммов бактерий-антагонистов с взаимодополняющими свойствами. В их числе разработки Объединения – микробные пестициды Ксантрел, БацифагКомпозит, Мультифаг, Мультифаг С, EcoReach, ХелсБеррин для защиты зеленых, овощных, зерновых и плодово-ягодных культур, использование которых способствует снижению инфекционного фона и повышению стрессоустойчивости растений к абиотическим и биотическим факторам. Биологическая эффективность биопрепаратов при применении на зерновых составляет 40–59%, плодово-ягодных – 46–78%, овощных – 49–80%, при этом значительно повышается продуктивность культур и улучшаются качественные характеристики растениеводческой продукции.

Поскольку плодородие почвы во многом зависит от состава ее микробиоты, нами в рамках научных и хозяйственных договоров проанализировано более 50 образцов почв сельскохозяйственного назначения. Установлено влияние способа обработки почвы на состав эколого-трофических групп микроорганизмов, выявлены доминантные индикаторные штаммы, позволяющие охарактеризовать интенсивность процессов трансформации азота в почве (азотификация, нитрификация и денитрификация), получены положительные результаты

по реабилитации почвенного микробиома с помощью комплексных микробных препаратов при выращивании зерновых, зернобобовых, плодовых и овощных культур в Беларуси и Китае.

Непрерывное выращивание овощей в грунтовых теплицах приводит к истощению питательных веществ и ухудшению структуры почвы, упрощению состава микробиоценоза, накоплению специфических фитопатогенов, вредителей и, как следствие, снижению урожайности культур. Улучшить ситуацию можно путем внесения полезных микроорганизмов, которые могут регулировать численность возбудителей заболеваний, а также создавать положительный баланс между полезными и патогенными микроорганизмами. К примеру, комплексный микробный препарат INMI-Phitostim при выращивании томата на фоне ограниченного использования химических пестицидов и сниженного на 30% количества минеральных удобрений способствует созданию благоприятных условий для формирования сбалансированного состава микробного ценоза (более чем в 2 раза увеличивается количество актиномицетов, целлюлолитических, аммоний-окисляющих и денитрифицирующих бактерий), что обеспечивает активную биотрансформацию органического вещества почвы и повышение урожайности томата на 21,1–45,2%. При этом средняя масса плодов в опытном варианте превышает на 15,3% контрольный показатель, улучшаются их качественные характеристики, в частности содержание витамина С и ликопина возрастает на 45,1% и 29,7% соответственно.

Высокая концентрация зерновых в севооборотах (более 50%) также приводит к накоплению возбудителей фузариозной, обильной, гелиминтоспориозной и ризоктониозной корневых гнилей и снижению почвенного плодородия. Для решения данной проблемы нами на основе высокоактивных штаммов бактерий рода *Bacillus* с антимикробной, азотфиксирующей, фосфатмобилизующей, целлюлолитической и ростстимулирующей активностями создан микробный препарат Биопродуктин. Внесение его осенью перед заделкой растительных остатков в почву и по вегетации весной позволяет получить достоверную прибавку урожайности зерна на 4,2–6,1 ц/га, при этом наблюдается рост содержания клейковины в зерне тритикале с 17,3 до 20,4% и количества продуктивных стеблей – на 19 шт/м². Биологическая эффективность препарата против снежной плесени составляет 10–15%, корневых гнилей – 26–56%, мучнистой росы – 40–50%. Его применение приводит к увеличению в почве численности агрономически ценных аммонифицирующих, азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и целлюлолитических микроорганизмов. Высокая эффективность Биопродуктина показана и при его использовании для обработки мульчированных приствольных полос карликового сада интенсивного типа. Внесение микробного препарата в количестве 3 л/га повышает биологическую активность почвы и урожайность плодов на 24,5–45,3 ц/га.

Негативное влияние на состав почвенного микробиома оказывает широкое применение агрохимикатов, что требует радикальных мер по его

восстановлению. Разработанный нами микробный препарат Агроревитол на 7,0–27,2% снижает остаточное количество гербицидов группы сульфонилмочевины и имидазолинонов, в 2,2–2,4 раза увеличивает количество амилалитических, азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов в почве, на 35–45% повышает всхожесть семян в условиях гербицидного стресса. Прибавка урожая зерновых и зернобобовых культур после применения средства достигает 2,7–7,4 ц/га.

Таким образом, быстрая диагностика, своевременное проведение защитных мероприятий и грамотная регуляция микробиома почвы служат основой создания новых устойчивых систем возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих снижение инфекционного фона при минимальной пестицидной нагрузке, поддержание почвенного плодородия, повышение урожайности и качества производимой растениеводческой продукции. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коваленков В.Г. Антропогенные факторы и фитосанитарная дестабилизация / В.Г. Коваленков // <https://cyberleninka.ru/article/n/antropogennyye-factory-i-fitosanitarnaya-destabilizatsiya>.
2. Семенов А.М. Здоровье почвенной экосистемы: от фундаментальной постановки к практическим решениям / А.М. Семенов, А.П. Глинушкин, М.С. Соколов // <https://cyberleninka.ru/article/n/zdorovie-pochvennoy-ekosistemy-ot-fundamentalnoy-postanovki-k-prakticheskim-resheniyam>.
3. Кадастр и мониторинг земель: краткий курс лекций. В 2 ч. / Мониторинг земель. Ч. 2. / Л.И. Смыкович. – Минск, 2023.
4. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – Минск, 2010. № 276, 1/12080.
5. ПЦР-диагностика грибов – возбудителей болезней огурца и томата / А.А. Барейко [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т микробиологии; редкол.: Э.И. Коломиец (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. Т. 11. С. 200–215.

Генетическое редактирование генома с помощью системы CRISPR/Cas

Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом вызовов на фоне возрастающего спроса на продовольствие и требований к его качеству. Традиционные методы селекции не всегда успевают за стоящими перед ними сложными задачами. Обострившиеся проблемы требуют разработки и внедрения новых, инновационных инструментов, позволяющих сократить затраты на создание новых сортов, повысить их урожайность, качество и устойчивость к неблагоприятным факторам.

Один из перспективных подходов – генетическое редактирование генома растений с помощью системы CRISPR/Cas. Этот метод появился более 10 лет назад и сразу привлек к себе повышенное внимание как ученых, так и широкой общественности. Считается, что он произвел революцию в селекции. CRISPR/Cas часто называют «генетическими ножницами» из-за способности изменять последовательности ДНК в строго определенном месте и проводить точные модификации геномов растений для получения желаемых агрономических признаков. С развитием технологии связывают дальнейший прогресс в данной области. Чтобы редактировать целевой ген или регуляторные элементы, как правило, используют плазмиды, способные нарабатывать белок Cas9 и содержащие последовательность для так называемой направляющей РНК, которая, попадая в клетку объекта редактирования, связывается с последовательностью соответствующей ей ДНК в геноме, а белок Cas9 разрезает молекулу в указанном месте. Репарационная система клетки восстанавливает



Оксана Урбанович,
заведующий лабораторией молекулярной генетики Института генетики и цитологии НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор



Анастасия Шишлова-Соколовская,
старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики Института генетики и цитологии НАН Беларуси

разрыв. В результате репарации ДНК могут произойти делеции, инсерции или модификации нуклеотидной последовательности, что приводит к появлению мутаций и изменению функций редактируемого материала.

Первые работы, посвященные данной теме, были опубликованы в 2013 г., когда технология была применена к модельным объектам – арабидопсису и табаку. К концу 2024 г. способ был задействован для генетического редактирования уже более 100 видов растений, а количество научных публикаций превысило 1 тыс.

Успех применения генетического редактирования генома растений с помощью системы CRISPR/Cas требует научного сопровождения всех этапов этого процесса. Так как воздействию вначале подвергаются отдельные клетки, необходимо распо-

лагать инструментами, позволяющими добиться регенерации растений из эмбриональной или другой ткани, чтобы получить в конечном итоге взрослый экземпляр. Однако не все виды и сорта сельскохозяйственных культур отзывчивы на подобные манипуляции. Для многих из них требуется отработка особых приемов культивирования, включая доставку компонентов системы CRISPR/Cas в растительные клетки. Чаще всего для этого используют методы генетической трансформации (агробактериальный, биобалистика и перемещение, опосредованное полиэтиленгликолем или липофектамином), эффективность которых отличается для разных видов растений. Компоненты, транспортирующие нуклеазу CRISPR/Cas и направляющую РНК в клетку, также совершенствуются в направлении

повышения эффективности редактирования, возможности работать с несколькими генами одновременно, создания методов трансформации «без чужеродной ДНК». Ученые постоянно находятся в поиске новых решений, позволяющих добиться требуемого результата.

Важный вопрос при применении технологии CRISPR/Cas – выбор гена-мишени. Знание структуры и функции целевого гена либо регуляторных элементов, влияющих на его работу, определяет успех достижения поставленной цели. Прогрессу в этом направлении способствуют накопленные сведения о структуре и функционировании генов растений. К решению задачи привлекаются современные технологии, включающие углубленные исследования на основе данных секвенирования как непосредственно генома, так и транскриптома, изучение отдельных генов и их семейств, вовлеченных в формирование хозяйственно важных признаков. Большое количество сведений о секвенировании геномов важнейших сельскохозяйственных культур, ресеквенировании и транскриптомах доступны в международных базах данных. Это позволяет выделить множество генов-кандидатов на основе анализа с помощью методов биоинформатики. Объектом генетического редактирования становятся как гены, так и регуляторные элементы и системы метилирования. В будущем это позволит управлять геномом растений более гибко и динамично.

Технология генетического редактирования на основе CRISPR/Cas9 принципиально отличается от метода создания генетически модифицированных организмов (ГМО) тем, что

с помощью первой видоизменяют генетический аппарат объекта, фактически вызывая в нем мутации, в то время как при генерации ГМО в клетки растений встраивают гены других видов. На первых этапах редактированные растения также могут содержать чужеродный генетический материал. Как правило, он представлен фрагментами плазмид, используемых для доставки системы CRISPR/Cas9 в клетки. Но так как потребитель заинтересован в сельскохозяйственной продукции без чужеродной ДНК, эти элементы исключаются из генома традиционными, достаточно затратными и трудоемкими, селекционными приемами. Чтобы снизить издержки и удовлетворить общественность, все больше внимания уделяется методам редактирования генома без внесения чужеродной ДНК.

Несмотря на все преимущества, выход на рынок сортов, полученных с использованием системы CRISPR/Cas9, сталкивается с некоторыми проблемами в законодательстве, регулирующем выращивание растений, отселектированных с помощью новых методов. Данный вопрос обсуждается в различных странах. Так, США, Канада, Япония, многие государства Южной Америки и Азии не ограничивают выращивание культур, отредактированных с помощью CRISPR/Cas9, при условии, что конечный продукт не содержит трансгенного материала. Министерство сельского хозяйства Китая опубликовало предварительное положение, разрешающее выход на рынок отредактированных культур в 2022 г. В ЕС занимают более осторожную позицию, разрабатывая новую нормативную базу для культур, полученных с помощью геномных технологий (НГТ), вклю-

чая редактирование генов. Находится на рассмотрении положение, согласно которому растения без чужеродной ДНК в будущем должны регулироваться менее строго. В целом есть все основания полагать, что законы о распространении и выращивании генетически отредактированных (фактически мутантных) растений будут направлены в сторону их эффективного и безопасного использования.

Япония стала первой страной, допустившей в 2021 г. на рынок генетически отредактированные с помощью технологии CRISPR/Cas9 томаты с повышенным содержанием гамма-аминомасляной кислоты (GABA) (созданы компанией Sanatech Seed), рекомендуемые людям для снижения кровяного давления. Более 10 сортов важнейших сельскохозяйственных культур находятся на разной стадии коммерциализации. Среди них – соя с лучшей усвояемостью для животных (Бразилия), более высоким уровнем олеиновой кислоты (Китай), устойчивая к засухе и засолению (США); кукуруза со значительным содержанием амилопектина (Бразилия), крахмала (США); засухоустойчивый рис (Индия); пшеница со сниженным уровнем аспарагина (Англия); горчица с уменьшенной остротой (Канада) и горечью (США); ценная кормовая культура *Vigna unguiculata* с измененной архитектурой для облегчения механической уборки (США). Ожидается, что в 2026 г. Китай начнет массовую регистрацию сортов, содержащих генетически отредактированные области генома.

Анализ достижений в данной области показывает, что технология успешно применяется для улучшения большого количества хозяйственно ценных призна-

CRISPR



Рисунок. Основные направления генетического редактирования растений с помощью системы CRISPR/Cas

ков, таких как качество и питательная ценность плодов, урожайность, архитектура растения, устойчивость к засухе, засолению, температурному режиму, грибным и вирусным болезням, вредителям и др. (рисунок). Объектами редактирования являются основные сельскохозяйственные культуры – злаковые, плодовые, ягодные, цитрусовые, овощные, масличные и др. Так, например, по данным на 2024 г., технология CRISPR/Cas была применена к такой важной и активно модифицируемой культуре, как рис, для редактирования 55 генов. В результате получены растения с улучшенной архитектурой, урожаем зерна, устойчивые к абиоти-

ческому стрессу, болезням и вредителям. Генетическому редактированию подверглось около 100 генов томата. Совершенствования коснулись фенотипа растения, массы плодов, их количества, времени созревания, вкусовых качеств, мягкости, плотности, содержания ликопина и каротиноидов, цвета, устойчивости к 3 вирусам, бактериальной пятнистости, фитофторе, фузариозу, гербицидам, засухе, засолению и др.

Такие важные для Беларуси зерновые культуры, как пшеница и ячмень, за последние 8 лет стали объектом достаточно масштабных исследований по генетическому редактированию. Получена пшеница, устойчивая к фузариозу, мучнистой росе, вирусу желтой мозаики, с измененной текстурой крахмала, низким глютеиновым составом, повышенной урожайностью, устойчивая к гербицидам, засухе и др. В ячмень включены гены, влияющие на пивоваренные качества и состав крахмала, позволяющие повысить устойчивость к вирусам, мучнистой росе и другим грибным патогенам, положительно влияющие на размер зерна, урожайность и др.

Овощные, плодовые и ягодные культуры пока затронуты подобными работами в меньшей степени. Сказывается нехватка фундаментальных исследований и сложность самих объектов. Тем не менее создан виноград, устойчивый к милдью и оидиуму. Модифицированы гены земляники садовой, влияющие на время цветения, размер, цвет, вкус и время хранения ягод, устойчивость к грибным заболеваниям. Достигнуты успехи в генетическом редактировании яблони, груши, малины, сахарной свеклы и др.

В лаборатории молекулярной генетики Института генетики

и цитологии НАН Беларуси получены растения модельного объекта табака с мутацией в последовательности гена *NtPDS*. Измененные растения имели фенотип альбиноса, что позволило отработать саму технологию CRISPR/Cas9. Положительные результаты экспериментов помогли перейти к созданию картофеля с генетически отредактированными генами *StCHL1* и *StDMR6-1*. Патоген, вызывающий такое опасное заболевание, как фитофтороз, использует эти гены для своего развития в клубнях. Нарушение работы генов должно повысить устойчивость культуры к болезни. Исследования проводились совместно с НПИЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству. С помощью агробактериальной трансформации сортов белорусской селекции были получены растения, в которые внесены различные мутации генов *StCHL1* и *StDMR6-1*, индуцированные CRISPR/Cas9-системой. Эффект проведенных манипуляций еще предстоит оценить. Имеющиеся в литературе данные говорят, что мутации указанных генов положительно влияют на устойчивость к грибным заболеваниям как картофеля, так и других видов сельскохозяйственных культур.

Таким образом, технология CRISPR/Cas не только становится инструментом фундаментальной науки, но и радикально меняет подход к селекции. Прогнозируют, что через 10 лет значительная часть новых сортов будет появляться с помощью редактирования генома или аналогичных технологий. Успехи, достигнутые в Китае и США, демонстрируют ускорение изысканий в данной области в 5–10 раз по сравнению с классической селекцией. Большое внимание уделяется способам,

позволяющим модифицировать сразу несколько генов. Методы геномного редактирования могут быть объединены с новыми стратегиями селекции для ускорения создания сортов с ценными хозяйственными признаками.

Применение CRISPR/Cas не только позволит повысить урожайность сортов, но и окажет влияние на устойчивое развитие аграрной отрасли. Селекция может быть полностью преобразована, так как генетическое редактирование позволяет изменять важнейшие характеристики растений, включая повышение фотосинтеза, устойчивость к болезням и эффективность использования питательных веществ. Она направлена на создание культур, более устойчивых к изменению климата, способных снизить зависимость от химических обработок, способствующих уменьшению распространения болезней.

Выход на рынок сортов, полученных с помощью CRISPR/Cas, потребует решения вопросов общественной приемлемости, правовой базы и биобезопасности. При правильном внедрении эта передовая технология будет содействовать переходу к более устойчивой, стабильной и экономически эффективной сельскохозяйственной деятельности. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Devanna B.N. Editorial: Innovations in Plant Breeding – CRISPR as a Powerful Weapon for Crops / B.N. Devanna, Y. Arra, M.S. Madhav // Front Genome Publishing. 2025. 7:1623540. Doi: 10.3389/fgeed.2025.1623540.
2. Tiwari J.K. CRISPR/Cas genome editing in tomato improvement: Advances and applications / J.K. Tiwari, A. K. Singh, T.K. Behera // Frontiers in Plant Science. 2023. 14:1121209. Doi: 10.3389/fpls.2023.1121209.
3. Урбанович О. Редактирование геномов с помощью системы CRISPR/Cas9 для создания растений с новыми свойствами / О. Урбанович, А. Шишлова-Соколовская, В. Неборская // Наука и инновации. 2025. №6. С. 76–79.

Диверсификационный потенциал ГОЛУБИКИ в Беларуси



Федор Привалов,
директор Центрального
ботанического сада
НАН Беларуси,
академик



Николай Павловский,
заведующий отраслевой лабораторией
Центрального ботанического сада
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент

Сохранению и укреплению здоровья людей способствует регулярное потребление плодов и ягод в достаточном объеме, что отмечено в качестве важнейшего приоритета Доктрины национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь [1]. В этой связи актуальным является поиск новых видов растений с целью диверсификации отрасли садоводства, в том числе посредством интродукции. Одна из перспективных культур, представляющая интерес для плодородства Беларуси, – голубика высокорослая (*Vaccinium corymbosum* L.), плоды которой обладают не только высокой питательной, диетической, но и чрезвычайно важной для здоровья человека лечебно-профилактической ценностью [2, 3].

На современном этапе развития отечественной экономики перед производителями плодов и ягод поставлены следующие задачи: снизить объемы импорта до минимума, отказаться от закупок тех видов, вырастить которые возможно в стране, и ориентировать отрасль на экспорт [4]. В аспекте импортозамещения актуально возделывание малораспространенных культур, в первую очередь – голубики высокорослой, пользующейся стабильно растущим спросом как на внутреннем, так и внешнем рынках [5].

В Беларуси имеются весомые причины в пользу промышленного голубиководства (рис. 1). В первую очередь это благоприятные природно-экологические условия. Выгодное географическое расположение определяет высокий экспортный потенциал производства и реализации плодов голубики в соседние регионы с более низким объемом ее выращивания и потребления (Россия, Казахстан) [6]. С технологической точки зрения культура голубики имеет большие перспективы для ее широкого возделывания на органической основе, что позволит отечественным аграриям занять свободную нишу среди стран СНГ в данном сегменте [7]. Важное основание для выращивания голубики высокорослой в нашей стране – биолого-экономическая составляющая, присущая ее растениям и выгодно отличающая их от других многолетних ягодников: продолжительная сохраняемость и высокая транспортабельность плодов, а также длительный период эксплуатации насаждений – более 50 лет [8].



Рис. 1. Предпосылки развития промышленного голубиководства в Беларуси

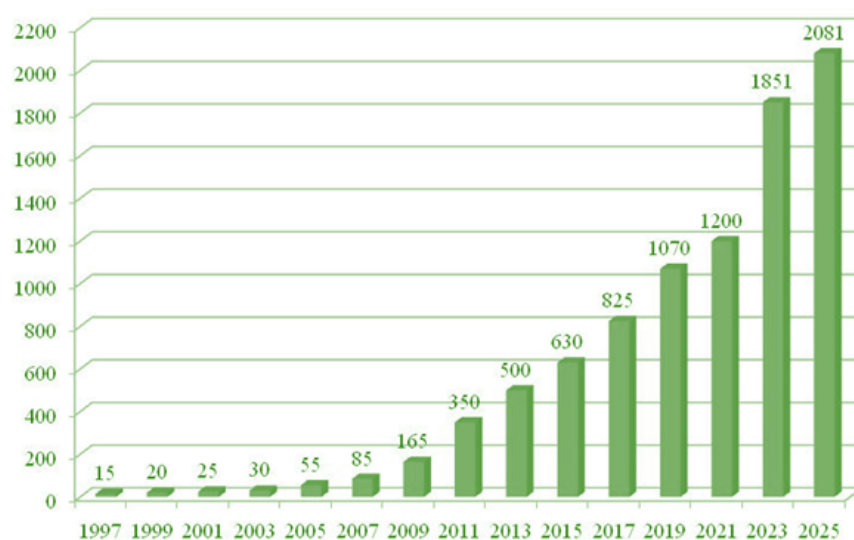


Рис. 2. Динамика площади насаждений голубики высокорослой в Беларуси

Анализ отрасли садоводства в республике показывает, что в последнее десятилетие заинтересованность в ее возделывании значительно повысилась, о чем свидетельствует факт увеличения площади промышленных насаждений в 3,3 раза (рис. 2). Растет и интерес к новым сортам, являющимся одним из основных элементов прогрессивных технологий возделывания плодовых и ягодных культур, обеспечивающим эффективность производства. Создание сортимента и его расширение осуществляется как интродукцией новых сортов, так и селекцией. Путь, по которому идут многие страны, – введение в культуру выведенных на североамериканском континенте (родине голубики) сортов и внедрение наиболее ценных из них в производство [9].

Положительный пример развития голубиководства демонстрируют Польша, Россия и Украина, интенсивно увеличивающие площади насаждений и использующие для промышленного возделывания интродуцированные сорта. На начало 2025 г. в регионах с совершенно разными природными условиями (Австралия, Испания, Новая Зеландия, Румыния, США, ФРГ, Япония и др.) селекционировано более 500 сортов голубики, которые дифференцированы на группы по ряду признаков: высоте куста, морозостойкости, продолжительности периода покоя и функциональному назначению (табл. 1). Анализ эколого-биологических особенностей голубики и результаты исследований показывают, что для наших природных условий пригодны сорта 3 групп – северной высокорослой, полувысокорослой и низкорослой [10].

Группа сортов	Высота растений, м	Морозостойкость, °С	Продолжительность холодовой обработки, ч	Исходные виды голубики
Северная высокорослая	1,5–2,5	–20...–30	>800	<i>V. corymbosum</i> , <i>V. angustifolium</i>
Южная высокорослая	2,0–2,5	0...–5	<800	<i>V. corymbosum</i> , <i>V. virgatum</i> , <i>V. darrowi</i> , <i>V. elliotii</i> , <i>V. formosum</i>
Прутьевидная (Эша)	1,0–3,0	0	<650	<i>V. virgatum</i>
Низкорослая	0,2–0,7	–30	>1000	<i>V. angustifolium</i>
Полувысокорослая	0,9–1,3	–25...–30	>800	<i>V. angustifolium</i> , <i>V. corymbosum</i>

Таблица 1. Коммерческие группы сортов голубики секции *Суанососсис*

Сорт	Срок созревания	Урожайность, кг/раст	Масса ягоды, г	Область допуска *
Bluecrop	Средний	2,3	2,2	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Bluegold	Средний	3,0	2,0	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Bluejay	Среднеранний	2,3	1,5	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Bluetta	Ранний	2,5	1,6	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Collins	Среднеранний	2,0	1,7	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Denise Blue	Средний	3,3	2,1	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Duke	Ранний	2,3	2,1	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Earliblue	Ранний	2,1	1,6	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Hardyblue	Средний	1,8	1,4	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Elizabeth	Поздний	2,4	2,1	Бр, Гм, Гр, Мн
Jersey	Среднепоздний	2,8	1,4	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Northblue	Ранний	3,3	1,9	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Northcountry	Ранний	3,3	0,7	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Northland	Среднеранний	2,6	1,3	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Patriot	Ранний	3,4	2,2	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Spartan	Ранний	2,4	2,3	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Sunrise	Средний	3,1	2,1	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг
Weymouth	Ранний	5,1	1,5	Бр, Вт, Гм, Гр, Мн, Мг

Таблица 2. Хозяйственно-биологическая характеристика районированных в Беларуси сортов голубики высокорослой и полувысокорослой

Примечание: области Беларуси: Бр – Брестская; Вт – Витебская; Гм – Гомельская; Гр – Гродненская; Мн – Минская; Мг – Могилевская

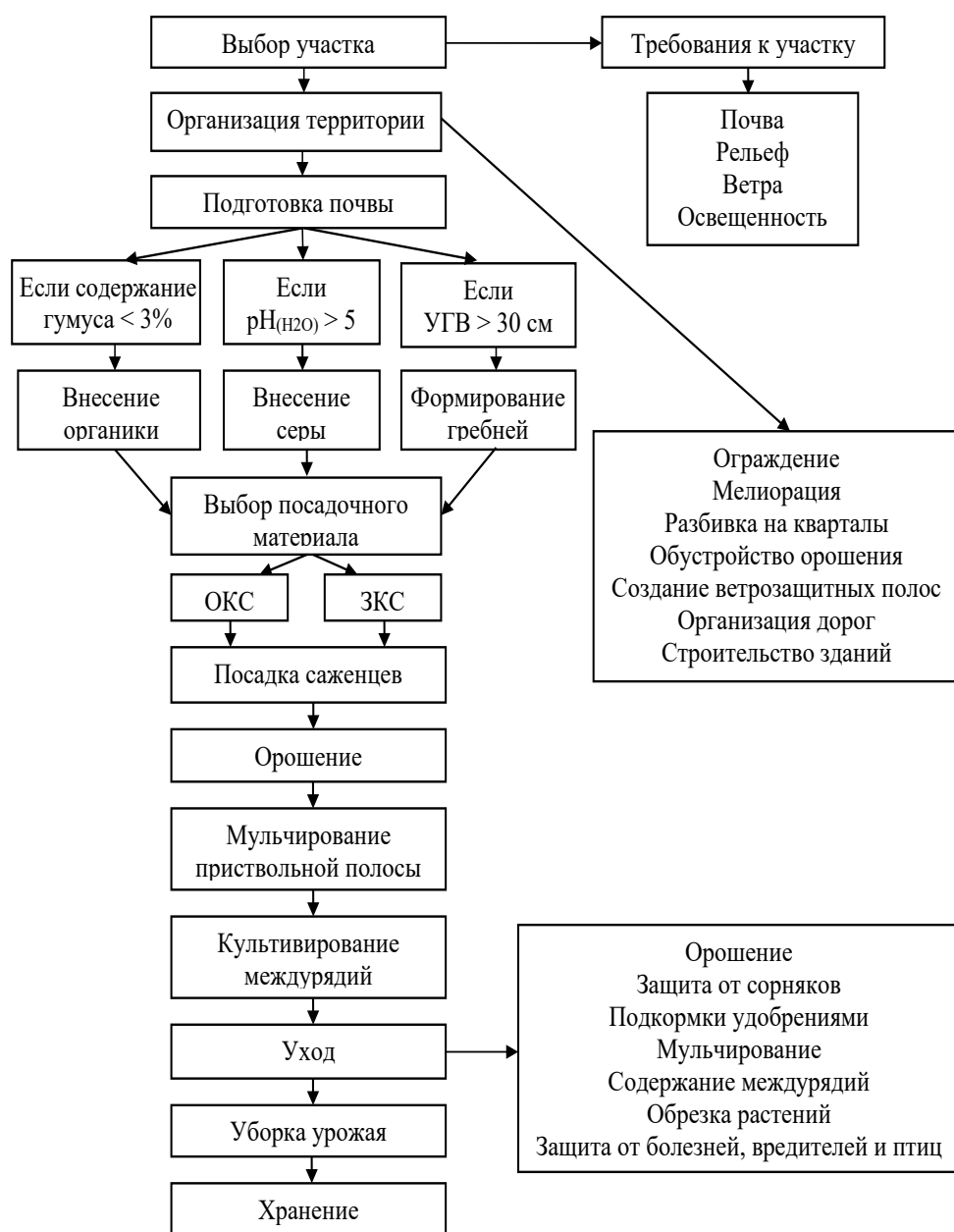


Рис. 3. Типовой алгоритм создания насаждений и возделывания голубики

Коллекционный фонд Центрального ботанического сада НАН Беларуси постоянно пополняется новыми сортами голубики разных коммерческих групп, и более 90 из них проходят интродукционные испытания. Основная задача при этом – оценка реакции завезенных растений на действия биотических и абиотических факторов новой среды. Решение данного вопроса в ЦБС основывается на многолетних систематических наблюдениях за ритмами фенологического развития, определении степени достижения интродуцируемыми таксонами основных морфобиологических параметров, присущих им в условиях родины, включая типичный габитус, устойчивость к экзогенным условиям, вегетативную и генеративную продуктивность, с целью выявления наиболее перспективных из них, обеспечивающих эффективное производство посредством формирования высокой и стабильной урожайности высококачественных плодов. Благодаря проведенным исследованиям сформирован сортимент, включающий 18 сортов голубики высокорослой и полувисокослой разных сроков созревания урожая [11], что позволяет поставлять на рынок свежие плоды отечественного производства в течение 3 месяцев (табл. 2).

На основании разработанных элементов технологии, практического опыта создания и содержания насаждений на базе использования отечественных средств механизации, анализа литературных источников, а также основываясь на агробиологических особенностях культуры, впервые в Беларуси разработаны типовой алгоритм (рис. 3) и технология (отраслевой технологический регламент) возделывания голубики высокорослой (выбор земельного участка, организация территории, подготовка почвенного субстрата, требования к саженцам и их посадке, правила содержания почвы в прикустовой полосе и междурядьях, обрезки и орошения кустов, уборки и хранения плодов) [12].

Итог выполненных в ЦБС НАН Беларуси исследований – разработка агробиологических основ для становления и развития голубиководства в стране. На начало 2025 г. создано свыше 2 тыс. га промышленных насаждений голубики высокорослой в более чем 150 хозяйствах различных форм собственности, специализирующихся на возделывании этой ягодной культуры, 9 из которых имеют посадки площадью 50 га и более (табл. 3).

Область	Площадь	
	га	%
Брестская	1470	70,6
Витебская	11	0,5
Гомельская	180	8,7
Гродненская	190	9,1
Минская	200	9,6
Могилевская	30	1,5
Итого	2081	100

Таблица 3. Распределение площадей насаждений голубики высокорослой по областям Беларуси (на 01.03.2025 г.)

Широкое внедрение голубики в практику промышленного и приусадебного садоводства будет способствовать диверсификации отрасли, увеличению объемов производства свежих плодов и расширению экспортных поставок востребованной на рынке продукции. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 15.12.2017, №962 // <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21700962>.
2. Mortaşa H. Nutritional evaluation of commonly consumed berries: composition and health effects / H. Mortaşa, N. Şanlıer // *Fruits, The International Journal of Tropical and Subtropical Horticulture*. 2017. Vol. 72(1). P. 5–23.
3. Madrera R.R. Physicochemical characterization of blueberry (*Vaccinium* spp.) juices from 55 cultivars grown in Northern Spain / R.R. Madrera [et al.] // *Acta Alimentaria*. 2019. Vol. 48 (2). P. 260–268.

4. Плесакевич Р.И. Видовое разнообразие сорных растений в насаждениях голубики высокой (*Vaccinium corymbosum* L.) / Р.И. Плесакевич, Н.И. Мелешко, А.В. Михнюк // *Защита растений: сб. науч. тр. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. Минск. 2017. Вып. 41. С. 50–58.*
5. Шалимо П.М. Экономическое обоснование плантационного выращивания голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) / П.М. Шалимо, О.В. Морозов, Д.В. Гордей // *Труды БГТУ*. 2012. №7. С. 107–110.
6. Беларусь и страны мира: стат. сб., [2010–2019] / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь; редкол.: И.В. Медведова [и др.]. – Минск, 2020.
7. Васеха В.В. Современное состояние плодородства в Республике Беларусь / В.В. Васеха // *Наука и инновации*. 2021. №9 (223). С. 44–48.
8. Blueberries around the globe – past, present, and future: intern. agr. trade rep., Oct. 2021 // USDA. Foreign Agricultural Service // <https://fas.usda.gov/data/blueberries-around-globe-past-present-and-future>.
9. Гладкова Л.И. Выращивание голубики и клюквы: обзор. информ. / Л.И. Гладкова. – М., 1974.
10. Павловский Н.Б. Систематическое положение и классификация сортов голубики секции *Gaopococcus* / Н.Б. Павловский // *Плодоводство: науч. тр. Т. 25 / НАН Беларуси, Ин-т плодородства. – Самохваловичи, 2013. С. 533–543.*
11. О внесении дополнений и изменений в государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений: приказ от 30.12.2022 г. №82 // Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений // <http://sorttest.by/index.html>.
12. Возделывание голубики высокорослой. Типовые технологические процессы. Выращивание буякой высокорослой. Типовые технологические процессы: отраслевой регламент: введ. с 01.02.2010 / разработ. Н.Б. Павловский // Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск, 2010. С. 375–393.





Олег Синчук,

старший научный сотрудник
лаборатории наземных
беспозвоночных животных
НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам

Александр Колбас,

старший научный сотрудник
лаборатории биогеохимии
Полесского аграрно-
экологического института НАН
Беларуси, докторант Института
природопользования НАН
Беларуси, кандидат биологических
наук, доцент

Дмитрий Войтка,

заведующий лабораторией
микробиологического метода
защиты растений от вредителей
и болезней Института защиты
растений, кандидат биологических
наук, доцент

Ирина Феклистова,

заведующий научно-
исследовательской лабораторией
молекулярной генетики и
биотехнологии биологического
факультета БГУ, кандидат
биологических наук, доцент

Надежда Архипова,

младший научный сотрудник
кафедры физической географии
мира и образовательных
технологий факультета географии
и геоинформатики БГУ

Фитосанитарный анализ садовых агроэкосистем Брестского региона

Устойчивой альтернативой химическим средствам защиты растений является биологический метод, основанный на применении микроорганизмов, энтомофагов, феромонов и антифидантов [1], позволяющий обеспечивать продовольственную безопасность [2]. Биологическая защита растений, включающая использование естественных хищников, паразитов и микробных агентов, становится перспективной заменой синтетическим пестицидам. Однако ее внедрение ограничивается вопросами эффективности, предсказуемости и стоимости [3]. Тем не менее данный метод остается ключевым элементом устойчивого контроля агрономически вредных организмов в агроэкосистемах.

Отечественная школа по биологической защите растений берет свое начало в 1936 г., а затем в 1958 г. продолжена работами в рамках биологического и микробиологического метода под творческим руководством и при активном участии Т.Т. Безденко. Исследования были направлены на привлечение и накопление энтомофагов на защищаемые культуры, изучение сезонной колонизации яйцеедов, энтомопатогенных микроорганизмов и грибов-антагонистов, создание и использование на их основе биопрепаратов для контроля вредителей и болезней, разработку комплексных мероприятий защиты плодовых, овощных культур и картофеля от вредителей и болезней. В 1976 г. в Белорусском научно-исследовательском институте защиты растений была организована лаборатория микробиологического метода защиты растений от вредителей и болезней [4].

Получена целая серия эффективных биопрепаратов (разработчики – Институт защиты

растений, Институт микробиологии НАН Беларуси и Белорусский государственный университет), показавших свою эффективность в садах нашей страны: Бактоген, Ж; Леканцилл; Бацитурин, Ж; Мелобасс, ПС; Энтолек, Ж [5, 6].

Учеными была поставлена задача – осуществить фитосанитарный анализ и апробировать биологические методы защиты растений в Брестском регионе. В ходе работ изучалось видовое разнообразие вредителей и болезней садовых агроценозов; оценена эффективность биологического метода их контроля; рассмотрены возможные подходы к улучшению качества почв.

Исследования велись в течение вегетационного сезона 2024 г. в 4 садах: ОАО «Агросад Рассвет», ОАО «Остромечево», ФХ «Влас», отдел «Агроботаника» УО «БрГУ имени А. С. Пушкина».

В эксперименте было задействовано 4 основных культуры: вишня (4 сорта), яблоня (6), смородина (3) и малина (3) (табл. 1). Коллекционирование материала проводили в соответствии с классическими подходами при работе с насеко-

мыми и растительными образцами [7, 8]. Идентификацию видов животных и возбудителей болезней осуществляли с использованием специализированных определителей [9–12].

Модельные участки подбирали по сортовой принадлежности и имели в каждом как минимум по одному растению контроля и обработанному биопрепаратом Битоксибациллин, П на основе энтомопатогенных бактерий *Bacillus thuringiensis* (Россия), а также средствами белорусского производства: Энтолек, Ж на основе энтомопатогенных грибов рода *Lecanicillium*, Профит® Защита комплексная, Ж на основе энтомопатогенных грибов рода *Metarhizium* и *Beauveria*. С целью защиты растений применяли Профит® Энергия роста, Ж на основе грибов-антагонистов рода *Trichoderma*; в почву вносили биопрепарат Гулливер, КС, содержащий бактерии *Pseudomonas aureofaciens* и отечественный регулятор роста «Гидрогумат».

Обработки проводили ручными и электрическими опрыскивателями на следующих этапах вегетации: в фазе зеленого конуса, перед цветением, в период завязывания плодов, и далее – не реже одного раза в месяц. При сборе данных по действию биопрепаратов оценивали следующие параметры: заселенность фитофагами (%) [13] (по 4-балльной шкале А.И. Блинова [15, 16]), распространенность болезней (%) [14]. Биологическая эффективность (% снижения численности/заселенности) рассчитывалась по формуле У.С. Эббота [17].

Изучен видовой состав животных садовых агроценозов Брестского региона, вклю-

Стационар	Код	Культура	Сорт
ОАО «Агросад Рассвет»	S1	Вишня (<i>Prunus cerasus</i> L.)	Облачинская
		Яблоня (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Имант, Памяти Сябаровой
		Смородина (<i>Ribes nigrum</i> L.)	Памяти Вавилова
ОАО «Остромечево»	S2	Яблоня (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Солнышко
ФХ «Влас»	S3	Смородина (<i>Ribes nigrum</i> L.)	Джонаголд, Глостер
		Яблоня (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Орел, Тихоуп
Отдел агроботаники БрГУ им. А.С. Пушкина	S4	Смородина (<i>Ribes nigrum</i> L.)	Гала
		Яблоня (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	Живица, Ласуха, Гриот
Отдел агроботаники БрГУ им. А.С. Пушкина	S4	Вишня (<i>Prunus cerasus</i> L.)	Глен Эмпл, Херитейдж
		Малина (<i>Rubus idaeus</i> L.)	Айдаред

Таблица 1. Видовой и сортовой состав модельных растений

чающий 105 видов, относящихся к 58 семействам, 24 отрядам и 8 классам. К наиболее распространенным можно отнести 5 видов насекомых, которые отмечены на всех стационарах: *Aphis* sp., *Harmonia axyridis*, *Apis mellifera*, *Anthonomus pomorum*. Зарегистрированы в двух и более местах: *Coccinella septempunctata*, *Adalia bipunctata*, *Anthonomus rubi*, *Byturus tomentosus*, *Myzus cerasi*, *Stictocephala bisonia*, *Callisto denticulella*, *Phyllonorycter blancardella*, *Vespa crabro*, *Mantis religiosa*, *Andrena fulva*, *Calioa cerasi*, *Vespula vulgaris*, *Polistes dominula*, *Coleophora hemerobiella*, *Parornix petiolella*, *Leucoptera malifoliella*, *Lyonetia clerkella*, *Yponomeuta malinellus*. Среди обнаруженных видов идентифицированы следующие чужеродные для фауны Беларуси наземные беспозвоночные: *Aphis* sp. (*spiraecola*), *H. axyridis*, *Krynickyllus melanocephalus*, *Helix pomatia*, *C. ribis*, *A. fulva*, *Argiope bruennichi*, *M. religiosa*, *S. bisonia*, *Hyphantria cunea*.

Максимальное количество видов (81) выявлено в стационаре S4, где проводились химические обработки (1–2) против насекомых-вредителей в весенне-летний период. Причем их относительный процент был довольно высоким и в садах с более интенсивными методами химизации (S2, S3).

Среди возбудителей болезней отмечены 2 вида патогенов вирусной природы и 10 – грибной. Среди относящихся к последним: *Phyllosticta mali*, *Venturia inaequalis*, *Podosphaera leucotricha*, *Monilinia fructigena*, *Elsinoe veneta*, *Mycosphaerella*

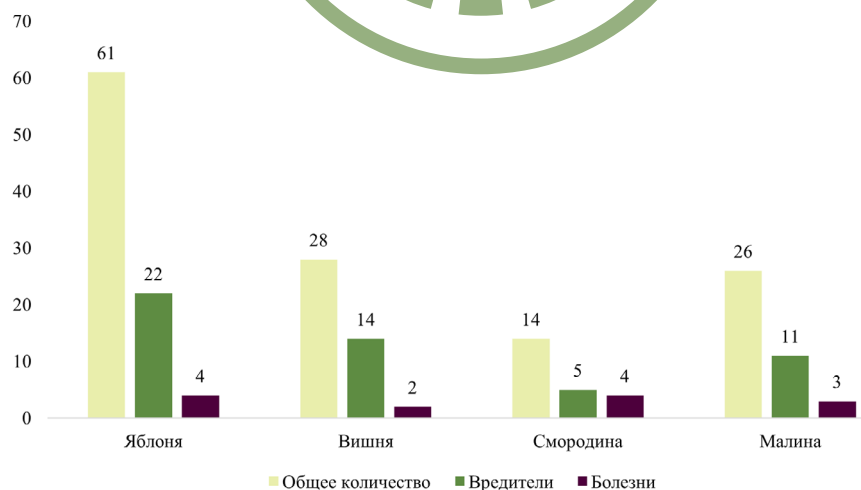


Рис. 1. Общее количество таксонов животных и болезней плодово-ягодных культур

rubi, *Mycosphaerella ribis*, *Blumeriella jaarii*.

При этом отмечали заболевания как вегетативных, так и генеративных органов растений: на листьях смородины черной – вирусное заболевание, вызываемое *Currant virus*, септориоз (возбудитель – *Mycosphaerella ribis*), ржавчина (*Cronartium ribicola*); мучнистая роса побегов и листьев – *Sphaerotheca morsuvae* (возможно, инвазивный).

Малина обыкновенная поражалась вирусной мозаикой *Raspberry mosaic virus*+, массово отмечен грибной патоген листьев *Mycosphaerella rubi*, также зарегистрирована серая гниль плодов с возбудителем *Botrytis cinerea*.

Парша яблони зафиксирована на всех стационарах, а бактериальные и вирусные заболевания листьев, серая гниль малины, коккомикоз вишни и монилиоз яблони и вишни – в местах с минимальным применением химических средств защиты (S1 – 5–7 обработок и S4 – 1–2 за сезон).

Выявлен интересный факт: *Vibidia duodecimguttata* пита-

ется *Podosphaera leucotricha*, что в дальнейшем можно использовать в биологической защите.

Характеристика общего количества таксонов животных и болезней плодово-ягодных культур в садах Брестской области указывает на то, что наибольшее видовое богатство организмов связано с посадками яблони (рис. 1).

Среди основных фитофагов отмечены: для яблони домашней – *Aphis* sp., *Yponomeuta malinellus*, *Anthonomus pomorum*, *Coleophora hemerobiella*, *Hoplocampa testudinea*, *Callisto denticulella*; для вишни обыкновенной – *Myzus cerasi*, *Phyllonorycter cydoniella*, *Lyonetia clerkella*; для смородины черной – *Cryptomyzus ribis*, *Cecidophyopsis ribis*, *Stictocephala bisonia*; для малины обыкновенной – *Coreus marginatus*, *Byturus tomentosus*.

В первую половину вегетативного сезона повсеместно зафиксированы вспышки размножения тлей родов *Aphis*, *Myzus* и *Cryptomyzus*, а во вторую – видов рода *Aphis*, которая совпадает со вторичным ростом и побегообразованием

Модельный участок Обработка растений	S4			S1			S2		
	Заселенность вредителями (распространенность болезней), %	Заселенность, балл	Биологическая эффективность, %	Заселенность вредителями (распространенность болезней), %	Заселенность, балл	Биологическая эффективность, %	Заселенность вредителями (распространенность болезней), %	Заселенность, балл	Биологическая эффективность, %
Яблоня домашняя									
Контроль (фитофаги)	32,5	3	–	8,0	1	–	8,0	1	–
Контроль (парша)	80,0	–	–	27,5	–	–	22,0	2	–
Битоксибациллин, П	18,5	2	43,1	3,0	1	62,5	6,0	1	25,0
Энтолек, Ж	14,6	2	55,2	7,0	1	12,5	5,0	1	37,5
Профит® Защита комплексная, Ж	17,6	2	46,0	5,0	1	37,5	8,0	1	0,0
Профит® Энергия роста, Ж	57,3	–	28,38	20,0	–	27,3	14,3	–	35,0
Вишня обыкновенная									
Контроль (фитофаги)	20,5	2	–	12,0	2	–	–	–	–
Контроль (коккомикоз листьев)	40,3	–	–	35,0	–	–	–	–	–
Битоксибациллин, П	6,5	1	68,3	6,0	1	50,0	–	–	–
Энтолек, Ж	8,5	1	58,5	6,0	1	50,0	–	–	–
Профит® Защита комплексная, Ж	10,0	1	51,2	7,0	1	41,7	–	–	–
Профит® Энергия роста, Ж	31,0	–	23,1	21,7	–	38,0	–	–	–
Смородина черная									
Контроль (фитофаги)	–	–	–	10,0	–	–	–	–	–
Контроль (септориоз листьев)	–	–	–	80,0	–	–	–	–	–
Битоксибациллин, П	–	–	–	7,0	1	30,0	–	–	–
Энтолек, Ж	–	–	–	3,0	1	70,0	–	–	–
Профит® Защита комплексная, Ж	–	–	–	5,0	1	50,0	–	–	–
Профит® Энергия роста, Ж	–	–	–	70,0	–	12,5	–	–	–
Малина обыкновенная									
Контроль (энтомо)	25,0	–	–	5,0	–	–	–	–	–
Контроль (септориоз листьев)	5,0	–	–	85,0	–	–	–	–	–
Битоксибациллин, П	20,0	2	20,0	3,0	1	40,0	–	–	–
Энтолек, Ж	10,0	1	60,0	3,0	1	40,0	–	–	–
Профит® Защита комплексная, Ж	15,0	2	40,0	4,0	1	20,0	–	–	–
Профит® Энергия роста, Ж	2,3	–	54,0	32,3	–	62,0	–	–	–

Таблица 2. Оценка заселенности фитофагами вредителями модельных видов растений при обработке биопрепаратами

яблони домашней в июле – августе (скручивание листовых пластинок на молодых побегах). Тли родов *Aphis* и *Myzus* посещаются муравьями рода *Lasius*. Среди представителей *Aphis* sp. нами обнаружены наездники-бракониды *Lysiphlebus* sp.

На яблоне домашней и вишне обыкновенной при отсутствии обработок пестицидами происходят вспышки размножения чешуекрылых насекомых: *Yponomeuta malinellus*, *Coleophora hemerobiella*, *Phyllonorycter cydoniella*, *Lyonetia clerkella*.

В условиях агроценоза S4 отмечен резкий рост численности *Coreus marginatus*, которые питаются листьями и плодами малины. При этом часть плода усыхает с формирова-

нием белесых пятен, которые постепенно желтеют. В июле зафиксировано начало формирования второго поколения вредителя на малине, что также совпадает со второй волной роста растений и повторным цветением (для ремонтантного сорта Херитейдж).

Наблюдались очаги вспышек массового размножения на территории Пинского, Дрогичинского, Кобринского районов карантинного инвазивного вида *H. cunea*. В условиях агроценоза S4 установлено его питание на *Prunus cerasus* и *Juglans* sp., в Дрогичине – на *Fraxinus* sp., в Иванове – на *Malus domestica* и *Humulus* sp.

В садовых агроценозах важную роль играют различные группы хищников: пауки (*A. bruennichi*, *A. diadematus*)

регулируют количество вредителей на ягодниках, уховертки (*Forficula*, *Chelidura*) специализируются на грудохоботных насекомых (при этом часто могут выступать и вредителями), а богомолы – универсальные хищники, хотя могут навредить пчелам (*A. mellifera*). Стрекозы (*Sympetrum* sp.) сдерживают рост численности летающих насекомых наряду с представителями семейств *Araneidae*, *Libellulidae* и *Mantidae*. Позвоночные хищники, включая ящериц (*Lacertidae*), лягушек (*Ranidae*) и насекомоядных птиц (*Picidae*, *Fringillidae*), также вносят существенный вклад в процесс биологического контроля.

Среди энтомофагов против грудохоботных насекомых хорошо себя показала азиатская божья коровка (*H. axyridis*), питающаяся тлями (*Aphis* sp., *C. ribis*, *M. cerasi*) и цикадами (*Cicadella viridis*), хотя при дефиците пищи отмечается ее переход на личинки других кокцинеллид (*A. bipunctata*, *C. septempunctata*) и даже повреждение плодов малины и вишни. Исследования в Брестском регионе выявили доминирующих хищников тлей, среди которых наибольшую эффективность проявили кокцинеллиды (*C. septempunctata*, *A. bipunctata*), сирфиды (*Episyrphus* sp.) и наездники-бракониды (*Lysiphlebus* sp.), что делает их перспективными для массового разведения. Отмечена двойственная роль некоторых энтомофагов: муравьи контролируют чешуекрылых и жесткокрылых, но их симбиоз с тлями наносит косвенный вред, а сирфиды одновременно выполняют функции хищников и опылителей. Герпетобионтные

Культура	Общий титр, КОЕ/1 г почвы	Количество изолятов микромицетов / количество фитопатогенных микромицетов	Содержание фитопатогенных микроорганизмов, %	Способность к фосфатомобилизации / азотфиксации, %
Смородина	5,77×10 ⁷	5/1	0,02	0/68
Малина	1,68×10 ⁸	4/0	0	0/67
Яблоня	4,89×10 ⁷	2/1	1,05	0/80
Вишня	3,31×10 ⁷	5/2	5,92	0/74

Таблица 3. Результаты микробиологического анализа почв стационара S1 (весенний период)

Примечание: КОЕ – колониеобразующая единица

Культура	Общий титр, КОЕ/1 г почвы	Количество изолятов микромицетов / количество фитопатогенных микромицетов	Содержание фитопатогенных микроорганизмов, %	Способность к фосфатомобилизации / азотфиксации, %
Смородина	5,02×10 ⁷	6/1	0,01	7/61
Малина	2,01×10 ⁸	3/1	0,02	4/60
Яблоня	1,07×10 ⁸	3/1	0,93	2/75
Вишня	5,60×10 ⁷	5/2	3,71	8/73

Таблица 4. Результаты микробиологического анализа почв стационара S1 (осенний период)

насекомые особенно подвержены контролю со стороны прыткой ящерицы (*Lacerta agilis*) и лягушек (*Rana* sp.).

С учетом видового состава фитофагов были подобраны доступные на рынке Беларуси биопрепараты для садовых агроэкосистем.

По окончании первого года обработок визуальная оценка заселенности кроны растений вредителями и распространённости болезней позволяет констатировать, что микробные препараты хорошо защищают плодовые и ягодные культуры и могут быть рекомендованы для приусадебных, школьных и университетских садов, где применение химических пестицидов должно быть ограничено или исключено (табл. 2).

При этом против грудоботных насекомых наибольшая эффективность отмечена у отечественного препарата Энтолек, Ж, в то время как два других можно рекомендовать для борьбы с листогрызущими членистоногими.

Установлена действенность Энтолека, Ж на грудоботных насекомых. Препарат Битоксибациллин, П оказывает влияние на гусениц и имаго чешуекрылых, а также жуков. Профит® защита комплексная, Ж комплексно действует на все группы фитофагов, в большей степени – на чешуекрылых, пилильщиков и жуков. Оба биопрепарата влияют на минирующих – скрытоживущих насекомых. В осенний период после обработки вишен, на которых питались гусеницы белой бабочки, отмечена гибель личинок при воздействии препаратов Профит® Защита комплексная, Ж и Энтолек, Ж.

Микробиологические препараты активно используются для улучшения биогенности почв [18]. Вследствие накопления пестициды в долгосрочной перспективе нарушают функционирование экосистем, негативно влияя на нецелевые объекты и снижая качество продуктов питания. При этом воздействие на почвенные организмы особенно важно, поскольку они осуществляют ключевые для сельскохозяйственного производства процессы: круговорот питательных веществ и гумусообразование, подавление патогенов. Известно, например, что применение медьсодержащих фунгицидов может подавлять активность микроорганизмов, приводя к снижению скорости разложения опада, нарушению структурной целостности и воздухопроницаемости почв [19, 20]. В связи с этим особую актуальность приобретает внесение биологических препаратов на основе живых культур бактерий и грибов для оптимизации защиты растений и улучшения микробиологического состава почв [21, 22]. При этом данные средства стоит рассматривать как альтернативное решение, а также в качестве возможного дополнения к имеющимся технологиям [22].

Для уточнения микробиологического статуса почв и обоснования выбора биологических препаратов в лаборатории молекулярной генетики и биотехнологии биологического факультета БГУ был проведен первоначальный микробиологический анализ. В качестве модельных были взяты образцы почв из стационара S1, представленного всеми четырьмя изучаемыми

культурами растений. Общий титр микроорганизмов варьировал от $3,31 \times 10^7$ КОЕ (колониеобразующих единиц)/1 г почвы до $1,68 \times 10^8$ КОЕ/1 г почвы (табл. 3); количество изолятов культивируемых микроорганизмов – от 2 до 5, среди них фиксировали до 2 фитопатогенных изолятов, причем их доля в общем титре приближалась к 6%; наибольшее количество фитопатогенных микроорганизмов выявлено в образце почв в местах выращивания вишни. Отмечается отсутствие культивируемых фосфатмобилизующих микроорганизмов, выделенных из образцов почв; способность к азотфиксации обнаруживается у 52–90% исследованных изолятов бактерий.

Исходя из полученных данных представлены практические рекомендации по профилактическому внесению отечественных биопрепаратов на основе азотфиксирующих, фосфатмобилизующих и антагонистических микроорганизмов для оздоровления почвы (Гулливир, Бобруйский завод биотехнологий и ООО «Сферум»).

На площадках стационара S1 для подавления развития фитопатогенных микроорганизмов в течение вегетационного сезона 2024 г. применялся высокоэффективный, экологически безопасный комплексный биологический препарат на основе бактерий *Pseudomonas aureofaciens* A8–6 Гулливир, КС (расход 1%-й рабочей жидкости – 500 л/га, периодичность обработок – 1 раз в 30 дней).

Известно, что характеристики микробиома почвы меняются в летнее время, возвращаясь к весенним параметрам осенью. В связи с этим для оценки влияния содержащих культуры

живых бактерий препаратов на микробиологический состав почв пробы были повторно отобраны в октябре 2024 г. (табл. 4).

Показано появление фосфатомобилизирующих микроорганизмов во всех образцах почв, увеличение количества изолятов нефитопатогенных грибов (что может являться следствием изменения уровня доступного азота и фосфора в результате внесения бактерий в составе биопрепаратов), а также снижение содержания фитопатогенных микроорганизмов во всех анализируемых образцах благодаря антагонистической активности бактерий *P. aureofaciens*

A8–6, синтезирующих широкий спектр антибактериальных и антифунгальных соединений, в том числе сидерофоров, феназиновых антибиотиков и пр.

Полученные данные позволяют рекомендовать проведение регистрационных испытаний препарата Гулливер, КС с целью расширения сферы его применения на плодовые и ягодные культуры для подавления возбудителей болезней растений.

Следовательно, современное садоводство требует комбинированного подхода с акцентом на биологические методы. Биопрепараты Битоксибациллин, П, Энтолек, Ж, Профит® Защита

комплексная, Ж, Гулливер, КС показали неплохую эффективность в защите плодово-ягодных культур и могут быть рекомендованы не только для приусадебных, школьных и университетских садов, где применение химических пестицидов должно быть ограничено или исключено, но и рассматриваться как часть интегрированной защиты плодово-ягодных культур.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант X24Б-005). ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сиутмен Х. Биологический метод борьбы с вредными насекомыми и сорными растениями / Х. Сиутмен. – М., 1964.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь №962 от 15.12.2017 г. «О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 г. // <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700962>.
3. Sanda N.B. Fundamentals of biological control of pests / N.B. Sanda, M. Sunusi // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2014. Vol. 1, iss. 6. P. 1–11.
4. Войтка Д.В. Основные итоги исследований в области микробиологической защиты растений от вредителей и болезней в Беларуси (1976–2010 гг.) / Д.В. Войтка, Л.И. Прищепа, Н.И. Миккульская // Земляробства і ахова раслін. 2011. №3. С. 45–47.
5. Ярчаковская С.И. Регулирование численности фитофагов биопрепаратами в насаждениях плодовых и ягодных культур в Беларуси / С.И. Ярчаковская, Н.Е. Колтун, Р.Л. Михневич // Защита растений. 2017. Вып. 41. Р. 263–272.
6. Сорока С.В. Разработка современных микробных препаратов в Институте защиты растений в Беларуси / С.В. Сорока, Д.В. Войтка, Е.Н. Янковская, Е.К. Юзефович // Protecția plantelor – realizări și perspective, 27–28 octombrie. Кишинев, 2015. №47. Р. 16–19.
7. Голуб В.Б. Коллекции насекомых: сбор, обработка и хранение материала / В.Б. Голуб, М.Н. Цурико, А.А. Прокин. – М., 2012.
8. Davies N.M.J. The Herbarium Handbook: Sharing Best Practice From Across the Globe / N.M.J. Davies, C. Drinkell, T.M.A. Utteridge. – London, 2024.
9. Ellis W.N. Leafminers and plant galls of Europe / W. N. Ellis // <http://www.bladmineerders.nl>.
10. Chinery M. Collins guide to the insects of Britain and Western Europe / M. Chinery. – London, 1993.
11. Трейвас Л.Ю. Болезни и вредители плодовых растений: атлас-определитель // Л.Ю. Трейвас, О.А. Каштанова. – М., 2024.
12. Семенченко В.П. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В.П. Семенченко [и др.]; под общ. ред. В.П. Семенченко, С.В. Буги. – Минск, 2020.
13. Горленко С.В. Устойчивость древесных интродуцентов к биотическим факторам / С.В. Горленко, А.И. Блинцов, Н.А. Панько. – Минск, 1988.
14. Шамрай С.Н. Основы полевых исследований в фитопатологии и фитоиммунологии / С.Н. Шамрай, Х. Глушенко. – Харьков, 2006.
15. Блинцов А.И. К методике определения устойчивости древесных растений к вредителям А.И. Блинцов // Ботаника: исследования. 1986. Вып. 27. С. 126–127.
16. Блинцов А.И. Способ определения устойчивости древесных растений к вредителям / А.И. Блинцов // Информационный листок БелНИИТИ. 1986. №58. Минск.
17. Abbott W.S. A method of computing the effectiveness of an insecticide / W. S. Abbott // Journal of Economic Entomology. 1925. Vol. 18. P. 265–267.
18. Фатина П.Н. Применение микробиологических препаратов в сельском хозяйстве // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2007. №4. С. 133–136.
19. Fernández D. Effects of fungicides on decomposer communities and litter decomposition in vineyard streams / D. Fernández, K. Voss, M. Bundschuh, J.P. Zubrod, R. B. Schäfer // Science of the Total Environment. 2015. Vol. 533. P. 40–48. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.090.
20. Arthur E. Soil microbial and physical properties and their relations along a steep copper gradient / Arthur E., Moldrup P., Holmstrup M., Schjønning P., Winding A., Mayer P., de Jonge L.W. // Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012. Vol. 159. P. 9–18. DOI: 10.1016/j.agee.2012.06.021.
21. Котляров В.В. Системное использование препаратов на основе бактерий и грибов в защите растений и улучшении микробиологического состава почв / В.В. Котляров, Н.В. Сединина, Д.Ю. Донченко, Д.В. Котляров // Научный журнал КубГАУ. 2015. №105. С. 1–12.
22. Петровский А.С. Микробиологические препараты в растениеводстве: альтернатива или партнерство / А.С. Петровский, С.Д. Каракотов // Защита и карантин растений. 2017. №2. С. 14–18.



В инфраструктуре отечественной академической науки к концу XX в. сложилась ситуация, когда в отличие от остальных регионов страны в Брестской области отсутствовало академическое учреждение в ранге самостоятельного института. Эту ситуацию решено было исправить путем создания в г. Бресте Отдела проблем Полесья НАН Беларуси, утвержденного постановлением Совета Министров от 01.12.1999 г. №1870. Организация была включена в Единый государственный регистр юридических лиц и индивидуальных предпринимателей 25 октября 2000 г., а спустя пять лет преобразована в государственное научное учреждение «Полесский агро-но-экологический институт Национальной академии наук Беларуси». Сегодня он аккредитован на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 (ISO/IEC 17025:2017, IDT) и отмечен аттестатом аккредитации, согласно которому 3 лаборатории проводят аналитические испытания по 203 методикам в области определения качественных и количественных показателей питьевых, поверхностных и сточных вод; земель, включая почвы и грунты; кормов сельскохозяйственных животных. Организация аттестована на право проведения испытаний средств защиты растений и удобрений, подлежащих государственной регистрации, а также зарегистрирована в государственном реестре производителей семян сельскохозяйственных растений. В настоящий момент в Институте функционирует 5 лабораторий: агробиологии, биогеохимии, оптимизации экосистем, гидроэкологии и экотехнологий, отраслевая научно-исследовательская лаборатория качества кормов. На текущий, 2025 г., общая численность работников института составила 41 человек, в том числе 10 кандидатов наук, из которых 4 доцента; 9 работников окончили аспирантуру с присвоением квалификации «исследователь», 5 имеют степень «магистр». В докторантуре обучаются 2 человека, в аспирантуре — 2, в магистратуре — 1. Средний возраст персонала составляет 42,8 года. За последние 10 лет сотрудниками опубликовано 678 научных работ, в том числе 18 книжных изданий.



ПРИРОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ *ПОД ЗАЩИТОЙ НАУКИ*

Сквозь научную призму бережливого отношения к природе

Полесье без преувеличения можно назвать особым краем в силу его неповторимых природных ландшафтов, заливных пойменных лугов и обширных болот. Здесь сохранился крупнейший в Европе лесоболотный комплекс с уникальной экосистемой. Поэтому очень важно сберечь экологическое благополучие региона, обеспечив при этом его устойчивое социально-экономическое развитие. Сделать это можно, опираясь на научно-инновационные подходы в агроэкологии, геохимии, обращении с отходами, мелиоративном земледелии, водопотреблении и водоочистке, вовлечении природного и культурно-исторического наследия региона в реальный сектор экономики и т.д. Все перечисленные направления находятся в сфере интересов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси, отмечающего в октябре 25-летний юбилей. Накануне знакового события директор, кандидат биологических наук, доцент Николай Васильевич Михальчук рассказывает о деятельности учреждения.



Николай Михальчук,
директор Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси,
кандидат биологических наук, доцент

– О достижениях института можно говорить долго и много, поэтому отмечу основные из них. В первую очередь это теоретические основы классификации экосистем, которые были разработаны коллективом нашей организации и использованы при обосновании создания специализированного биосферного резервата «Прибужское Полесье», интегрированного в состав первого на равнинах Европы трехстороннего биосферного резервата «Западное Полесье». Проведена большая работа по научному обеспечению Государственной программы развития особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Для этого подготовлены научные и технико-

экономические обоснования 48 заказников и памятников природы, обеспечивающие необходимый уровень охраны природных территорий, сообществ и биотопов. Результаты изучения гидрогенно-карбонатных ландшафтов позволили обосновать природоохранную концепцию «Орхидный пояс Полесья», которая подтверждена натурными исследованиями и реализована путем создания нескольких ООПТ – биологических заказников республиканского значения «Луково», «Тырвовичи», «Бусловка», местных биологических заказников «Дивин-Великий Лес», «Изин», «Хмелевка», «Ярута» и др. Они определяют авторитет природоохранной политики Беларуси в сохранении популяций видов орхидей, по своей численности и жизненности не имеющих аналогов в Европе и находящихся под угрозой исчезновения.

Впервые разработана комплексная научная основа активного вовлечения природных достоинств в ландшафтно-архитектурную и социально-экологическую сферу крупного города юго-запада Беларуси, что нашло отражение в решении Брестского горисполкома, утвердившем Перечень мероприятий по сохранению основных природно-экологических достопримечательностей городской среды Бреста, включающий около 1500 объектов.

В рамках направления утилизации отходов осуществляется разработка способов трансформации неопасных органосодержащих и побочных продуктов

производств в органические, органоминеральные удобрения и эко-почвогрунты. За последние 10 лет создано 22 технических условия на их изготовление с использованием отходов пищевой промышленности, осадков городских и производственных сточных вод рыбо-, молоко- и зерноперерабатывающих предприятий, отходов грибного производства, сепарированных отходов животноводческих комплексов КРС и биогазовых установок. Впервые для Брестской области научно обоснованы комплексные способы безопасного применения зольных отходов теплоэнергетических предприятий (древесная и древесно-торфяная зола) в качестве компонентов удобрений. При этом география сотрудничества по данной проблематике охватывает практически всю Беларусь. К примеру, ученые лаборатории гидроэкологии и экотехнологий выполнили такие работы в интересах около 20 предприятий, среди которых ОАО «Савушкин продукт», «Пружанский молочный комбинат», «Бабушкина крынка», «Верхнедвинский маслосырзавод», «Рогачевский молочно-консервный комбинат», «Милкавита», Щучинский филиал ОАО «Молочный мир» и др.

В рамках Госпрограммы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси» на 2021–2025 гг. в лаборатории агробиологии проведены масштабные исследования по обоснованию способов переработки и направлений дифференцированного применения осадков сточных вод городских очистных сооружений и органической части твердых коммунальных отходов с целью снижения антропоген-

ного воздействия на окружающую среду, улучшения озелененности и экологического состояния городских земель.

– Николай Васильевич, в числе ключевых достижений вы называете решение проблем в сфере обращения с отходами. Почему они являются столь актуальными?

– Возникновение проблемы отходов, на мой взгляд, обусловлено доминированием в современном обществе «принципа одноразовости», что в корне противоречит биосферной парадигме цикличности. В результате человечество «тонет» в порождаемых им же побочных продуктах, забывая незыблемый постулат: ни один биологический вид не может существовать в отходах своей жизнедеятельности. Я преклоняюсь перед величием личности Стивена Хокинга, английского астрофизика, но никогда не разделял его мнение о том, что через 200–500 лет (его оценки менялись) человечество должно будет переселиться на другие планеты, исчерпав ресурсы Земли. По сути, тем самым идея одноразовости экстраполируется на нашу планету в целом: ничего, мол, страшного, попользуемся, загрязним, опустошим и уйдем к другим мирам. Ничего подобного! Все, что мы знаем на сегодняшний день о ближнем и дальнем космосе, – он крайне агрессивен к любым проявлениям жизни. Земля уникальна, и нет более благородной задачи, чем решать ее, а точнее – наши проблемы здесь и сейчас. И особенно в плане сохранения всех форм жизни, дарованных Природой. Как бы пафосно это ни прозвучало, но я считаю, что в высказанном контексте Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси не случайно

и весьма успешно занимается в том числе и этими очень важными проблемами: сохранением биоразнообразия нашего региона – уникального по европейским и общемировым меркам – и вопросами рационального использования отходов в качестве вторичных материальных ресурсов.

– Какая научная продукция и оказываемые институтом услуги наиболее привлекательны для пользователей?

– На протяжении многих лет коллектив учреждения активно изучает миграцию ксенобиотиков в экологических системах и механизмы включения их в природные циклы. Основные усилия направлены на исследование воздействия тяжелых металлов и металлоидов на биотические и абиотические компоненты экосистем и минимизацию соответствующих рисков. Классический пример востребованности научных разработок в этой сфере – реализация комплекса мероприятий по минимизации последствий геохимического инцидента в районе поселка Зеленый Бор Ивацевичского района, возникшего в результате несанкционированного складирования на заброшенной промплощадке около 10 тыс. т свинцовой золы – отхода переработки лома свинцовых аккумуляторных батарей в марочный свинец. В результате аэрогенного переноса пылевых фракций произошло загрязнение грунтов самой площадки, а также прилегающих лесопокрытых участков. Выполнение в полном объеме предложенных институтом рекомендаций позволило устранить угрозу заражения грунтовых вод, резко ограничить миграционную активность вредных частиц и опасность интенсивного поступления в пищевые цепи.



Сотрудники института на выставке Ecology Expo, август 2025 г.

В рамках данного направления лаборатория биогеохимии оказывает услуги по геоэкологическому обследованию земель в местах расположения выявленных или потенциально опасных источников, результаты которого используются субъектами хозяйствования для создания системы наблюдений в рамках локального мониторинга окружающей среды. Среди заказчиков как крупные производственные предприятия – ОАО «Белорусский металлургический завод», филиал «Березовская ГРЭС» РУП «Брестэнерго», ООО «Брестгазоаппарат», ООО «Аккумуляторный Альянс», так и многочисленные коммунальные предприятия – ЖКХ, водоканалы.

Инновационным товаром на рынке являются сортовые семена сильфии пронзеннолистной. На сегодняшний день институт – их единственный официальный производитель. Здесь создан и успешно функционирует опытно-производственный участок «Полесская сильфия» для отработки приемов возделывания этой культуры. Причем ее достоинства оценены и за пределами Беларуси – мы успешно сотрудничаем с предприятиями АПК

Российской Федерации, поставляя семена на экспорт.

Еще одна востребованная услуга – выполнение работ по оценке воздействия на окружающую среду в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности и определению размеров компенсационных выплат за вредное влияние на объекты животного мира и среду их обитания при реализации различных строительных проектов. Востребованность подобных услуг постоянно возрастает: если в 2020–2023 гг. в среднем за год выполнялось по 15 договоров, то в 2024 г. – вдвое больше, а в текущем планируем выйти на 40.

– На повестке дня всех отечественных научных организаций неизменно стоит вопрос о необходимости реализации разработок в реальном секторе экономики. Какие факторы, на ваш взгляд, повышают эффективность взаимодействия науки и производства?

– В нашем случае наиболее успешный и наглядный пример такого взаимодействия – опыт работы Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов – ОНИЛКК,

созданной в 2019 г. Это передовая структура, где анализ кормового сырья и кормов осуществляется сочетанием их исследований традиционными лабораторными методами («мокрая химия») и спектроскопией в ближней инфракрасной области. Это позволило впервые сформировать отечественную базу данных (библиотеку спектров) параметров качества кормов, построить математические модели, разработать 46 калибровочных моделей для большинства исследуемых показателей качества и обеспечить импортозамещение соответствующих услуг, предоставлявшихся до марта 2022 г. компанией Eurofins Agro BLGG (Нидерланды). Использование этих двух подходов резко увеличило пропускную способность лаборатории, удешевило стоимость анализов и существенно повысило их точность.

ОНИЛКК сотрудничает со 182 сельскохозяйственными предприятиями 20 районов Брестской, Минской, Гомельской и Гродненской областей. Выполняется анализ образцов консервированных кормов (сенаж, силос) по 43 показателям питательности, переваримости и кормовой ценности, включая определение содержания биологически значимых макро- и микроэлементов. Это дает возможность адресного составления рационов кормления, грамотной работы с премиксами, а также при необходимости – осуществления корректировки геохимического статуса почв кормового поля. Деятельность лаборатории весьма успешна: к примеру, за 2024 г. исследовано 3425 образцов различных видов кормов на сумму свыше 400 тыс. рублей; за 1-е полугодие 2025 г. – 1790 образцов на 237 тыс. руб.

Крайне важной составляющей успешного взаимодействия науки

и производства я бы назвал наличие «чувства перспективы» у обеих сторон. Безусловно, оно не рождается на пустом месте, а является производным соответствующих компетенций и опыта конкретных личностей – как от науки, так и управленцев-производственников. Замечено также, что научные разработки намного легче продвигать в том случае, если управленец – выходец из научной среды. Нет, это не протекционизм, а счастливая возможность вести диалог на одном языке, быть услышанным, а по ходу взаимовыгодного сотрудничества своевременно принимать необходимые решения и меры для успеха общего дела. Очень важен также аспект стабильности кадрового состава. Вот примерно так «звезды сошлись», когда у истоков создаваемой отраслевой лаборатории оказались С.К. Буткевич, кандидат сельскохозяйственных наук, первый заместитель председателя комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Брестского облисполкома, курировавший отрасль животноводства, и М.А. Пастухова, заведующая ОНИЛКК, кандидат сельскохозяйственных наук.

На сегодняшний день работа лаборатории полностью интегрирована в систему животноводства Брестской области; актуальная информация по качеству кормов ежемесячно предоставляется первому заместителю председателя облисполкома Д.Н. Городецкому, председателю облсельхозпрода А.Л. Щупленкову, что позволяет принимать оперативные управленческие решения, в том числе и в отношении ОНИЛКК. Неслучайно руководством неоднократно подчеркивалось, что ее деятельность – наглядный пример эффективного сотрудничества

академической науки и реального производства, что наряду с другими факторами позволило молочной отрасли региона занять лидирующие позиции в Республике Беларусь.

– Одним из убедительных показателей научной состоятельности академического института является участие его сотрудников в проектах Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и других организаций. Насколько успешным является ваше взаимодействие с ними?

– За 34-летний период деятельности Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований 5 учреждений образования и науки, расположенные на территории Брестской области (4 университета и наш институт), выполнили около 170 проектов при его финансовой поддержке. Из них 60 грантов (или 35%) за 20 лет реализовано в стенах нашего учреждения. Кроме того, с 2006 г. БРФФИ совместно с Брестским облисполкомом было проведено 8 совместных тематических конкурсов по различным пробле-

мам области, включая и аграрно-экологические. Институт неизменно выступал головной организацией по проведению конкурса и самым активным его участником. Наиболее весомые результаты были получены в области геохимии почв и биогеохимии растений, особенно в отношении экологически проблемных территорий, а также в сфере безопасного обращения с отходами производств, включая их рациональное использование в качестве вторичных материальных ресурсов.

Кроме того, сотрудниками института обоснованы и подготовлены 4 получивших финансирование проекта по программам трансграничного сотрудничества. Два из них очень крупные: «Расширение трансграничной системы очистки сточных вод в бассейне реки Западный Буг», главной целью которого являлось строительство очистных сооружений в г. Каменце, и «Чистая река – главный приоритет» – строительство новых очистных сооружений в г. Жабинке. Общий объем привлеченных финансовых средств по итогам реализации проектов превысил 4,5 млн евро. На базе института создан Гидроэкологи-



В лаборатории биогеохимии

ческий центр, оборудована современная аналитическая лаборатория, где проводятся исследования качества природных вод, разрабатываются рекомендации по решению водных проблем.

Еще один вектор сотрудничества – трехсторонний меморандум о создании совместной китайско-белорусской лаборатории в рамках инициативы «Один пояс, один путь» по зеленому и низкоуглеродному использованию сельскохозяйственных ресурсов и здоровью почв, подписанный в январе 2025 г. Институтом экологии, окружающей среды и почвоведения Академии наук провинции Гуандун, Институтом природопользования НАН Беларуси и Полесским аграрно-экологическим институтом НАН Беларуси и открывающий большие перспективы для новых разработок.

– Николай Васильевич, каким видится будущее развитие института?

– Оно представляется в усилении его инновационной роли в качестве единственного комплексного учреждения регионального сектора академической науки Беларуси и формировании на его основе консолидирующего логистического центра по внедрению инноваций в природно-экологическую, агрохозяйственную и образовательную сферу Белорусского Полесья. Основными направлениями деятельности при этом будут переработка вторичных материальных ресурсов, экологический рециклинг; экологизация гидромелиоративной сети; ресурсо- и энергосберегающие технологии водопотребления и водоочистки; регионально адаптированное кормопроизводство, оценка качества



сельскохозяйственного сырья и продукции; вовлечение ресурсов ландшафтно-биологического разнообразия в доходные статьи местного населения и макроэкономики; устойчивое сохранение природного и культурно-исторического наследия.

Продолжится поиск эффективных способов реабилитации химически загрязненных земель с использованием технологий биоремедиации – фитоэкстракции и фитостабилизации, а также применением биочара. Перспективными реабилитационными технологиями считаем успешно осваиваемое нами микроразмножение растений-ремедиантов в условиях *in vitro*. В числе приоритетов – дальнейшее развитие и повышение эффективности системы контроля и управления качеством кормов, ориентированной на 100%-й охват анализом кормов, заготавливаемых предприятиями АПК Брестской области (при необходимости – и смежных регионов), выявление и оценка факторов, влияющих на этот показатель, а также создание цифровой платформы управления соответствующей системой.

Среди новых направлений, которые формируются на основе выполняемых исследований и разработок, в институте обозначено также точное земледелие. В фокусе внимания – оптимизация процессов диагностики зон неоднородности сельскохозяйственных полей в условиях сложных структур почвенного покрова, а также отработка методов анализа проб почв методами FT-NIR-спектроскопии для создания пользовательской библиотеки спектров и поиск оптимальных методов экспресс-диагностики агрохимических и агрофизических свойств почв.

Я полностью солидарен со словами известного химика и популяризатора науки Р. Хоффмана: «Наука – это увлекательное занятие, но и чертовски тяжелая работа. Но мне в жизни очень повезло, поскольку я имею возможность каждый день узнавать все больше и больше, пытаюсь понять суть явлений». Хочется пожелать всем причастным к этой работе жизненных сил и энергии, достойных и востребованных результатов при добром здоровье, мире и благополучии! 🇷🇺

Альтернативные органические удобрения и модификаторы почв



Людмила Иовик,
заведующий лабораторией
биогеохимии, кандидат
сельскохозяйственных наук
Полесского аграрно-экологического
института НАН Беларуси



Андрей Гапонюк,
и.о. заведующего
лабораторией агробиологии
Полесского
аграрно-экологического
института НАН Беларуси

Ежегодная потребность в минеральных удобрениях для обеспечения бездефицитного баланса элементов питания и гумуса на пахотных землях Беларуси составляет 1808 тыс. т действующего вещества, в том числе азотных – 671 тыс. т д.в., фосфорных – 331 тыс. т д.в. и калийных – 806 тыс. т д.в.; в органических – 62,0 млн т. По данным Национального статистического комитета, за период 2019–2023 гг. под сельскохозяйственные культуры в среднем ежегодно использовано 953,2 тыс. т минеральных и 49,7 млн т органических удобрений. Их недостаточное внесение преимущественно обусловлено значительными сопутствующими материальными затратами.

С учетом потребности и оценочных объемов заготовки органических удобрений (48,5 млн т на 2024 г.) их дефицит в целом по республике составляет 13,5 млн т, или 2,8 т/га. В условиях отсутствия необходимого количества и в целях предотвращения угрозы дегумификации почв пахотных

земель необходим поиск альтернативных, малозатратных и эффективных источников органического вещества. Его существенные запасы содержат солома, сидераты, сапропель, вермикомпосты, компосты с использованием костры льна, лигнина, растительных и бытовых отходов. Ценными субстратами, обладающими удобрительным и почвоулучшающим потенциалом, являются отходы местных производств – биогазовых установок, рыбоперерабатывающих предприятий, грибного производства и др.

С 2008 г. в Беларуси внедряются биогазовые технологии по переработке сельскохозяйственных отходов – в первую очередь навоза животноводческих комплексов. В результате метанового сбраживания в метантенках образуется биогаз, применяемый для получения тепловой и электрической энергии, и органический осадок, который имеет высокое содержание макро- и микроэлементов и может быть использован как самостоятельное удобрение или для получения компостов на его основе.

Производство растениеводческой продукции может сопровождаться образованием большого количества сопутствующих отходов, при этом выход основного продукта зачастую составляет лишь 15–30% от массы исходного сырья. Сегодня крайне нерационально перерабатываются зерноотходы, солома, стебли кукурузы и др. Существуют различные приемы по возврату их питательных веществ в почву, одним из которых является предварительное компостирование с отходами животноводства.

В городском жилищно-коммунальном хозяйстве Республики Беларусь ежегодно образуется около 3,8 млн т твердых коммунальных отходов, 40% из которых – листва, скошенная газонная трава, древесные отходы и др. Введение их в состав питательных субстратов, обладающих почвоулучшающими свойствами, имеет важное практическое значение для озеленения городских территорий.

В качестве основы для создания альтернативных органических удобрений и модификато-

ров почв, как правило, используются «местные» отходы предприятий как растительного, так и животного происхождения. Изготовление нетрадиционных удобрительных и почвоулучшающих материалов включает многоэтапные процессы, направленные на достижение наилучшей агроэкологической и экономической эффективности. В Полесском аграрно-экологическом институте имеются следующие разработки.

Органические и органоминеральные удобрения на основе отходов биогазовых установок крупных животноводческих комплексов, представленные в жидкой и сухой формах. Жидкие имеют влажность 87,9%, pH_{kcl} 8,3 и содержат органическое вещество – 5,1%, N – 0,61%, P_2O_5 – 0,40%, K_2O – 0,10%, CaO – 0,14%, MgO – 0,06%. Сухие формы производятся в виде смешанных и гранулированных. Смешанные биоудобрения универсальные (5 вариантов) изготавливают путем компостирования в разных пропорциях сброженного отхода, торфа, дефеката (фильтрационного осадка сахарного завода), отхода грибного производства, калия хлористого; их качественные характеристики: влажность – 57,4–84,1%, pH_{kcl} – 6,6–8,8, органическое вещество – 47,3–81,3%, N – 0,57–0,96%, P_2O_5 – 0,36–0,90%, K_2O – 0,42–1,02%. В состав **гранулированных биоудобрений (3 варианта)** входят компостированные органоминеральные смеси, прошедшие этапы сушки и грануляции (рис. 1); они имеют следующие параметры: влажность – 9,3–24,4%, pH_{kcl} – 7,0–8,1, органическое вещество – 60,4–77,1%, N – 1,27–2,31%, P_2O_5 – 0,87–1,53%, K_2O – 1,78–3,22%.

Органоминеральное удобрение для овощных культур проходит этапы сушки, грануляции

и покрытия гранул биоразлагаемым органическим полимером для обеспечения пролонгированного эффекта и предотвращения негативной реакции овощных культур на высокую концентрацию солей удобрений. Их показатели: влажность – 20,0%, pH_{kcl} – 7,5, органическое вещество – 35,1%, N – 4,96%, P_2O_5 – 4,80%, K_2O – 8,81%, CaO – 4,00%, MgO – 0,34%.

Альтернативные органические удобрения из отходов предприятий рыбопереработки и грибного производства представлены двумя марками: А «КОМПОСТ» и Б «ГРАНУЛЫ».

Первое создают биокомпостированием смеси осадка производственных сточных вод предприятий рыбопереработки с отработанным субстратом после выращивания шампиньонов, второе получают гранулированием. Качественные характеристики: влажность – 45,0% и 14,7%, pH_{kcl} – 6,4 и 6,2, органическое вещество – 72,9% и 73,2%,



Рис. 1. Органоминеральные биоудобрения – универсальные и гранулированные



Рис. 2. Субстрат для использования в городских условиях

N – 1,40% и 0,63%, P_2O_5 – 1,18% и 2,12%, K_2O – 0,31% и 0,54%, CaO – 1,12% и 1,81%, MgO – 0,10% и 0,15% соответственно.

Органическое удобрение на основе отходов животноводства с добавлением отходов зерноперерабатывающих предприятий – продукт компостирования смеси навоза крупного рогатого скота и зерноотходов (влажность – 75,0%, pH_{kcl} – 6,0–8,5, органическое вещество – 50%, N – 0,3%, P_2O_5 – 0,2%, K_2O – 0,2%).

Субстрат для использования в городских условиях получен из органических отходов предприятий ЖКХ, образующихся после уборки городских территорий, садов, парков, и применяется в качестве модификаторов почв (рис. 2). Он имеет влажность – 56,0%, pH_{kcl} – 7,6–7,8 и содержит органическое вещество – 20%, N – 0,29–0,31%, P_2O_5 – 0,15–0,18%, K_2O – 0,16–0,25%.

Альтернативные органические удобрения способствуют увеличению урожая сельскохозяйственных и овощных культур и получению 311–546 ц/га зеленой массы кукурузы, 307–316 ц/га корнеплодов сахарной свеклы, 28,3–29,9 ц/га зерна ярового ячменя, 31,1–37,7 т/га плодов огурца, 64,7–69,5 т/га кочанов капусты белокочанной. Субстрат для использования в городских условиях улучшает физические, физико-химические и агрохимические свойства почв.

Таким образом, представленные разработки являются дешевыми источниками питательных веществ для возделываемых культур, отличаются высокой агрономической эффективностью, оказывают заметный почвоулучшающий эффект, удобны в транспортировке и внесении в почву, обладают длительным последствием. ■

Точное земледелие в условиях сложных структур почвенного покрова

В Республике Беларусь в 2020–2025 гг. заметно активизировались НИОКР в области цифровизации агросектора и точного земледелия. В 2024 г. Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко определил стратегическую цель – создать в стране высокотехнологичный, прибыльный аграрный сектор и поэтапно перевести его на новый уровень. Глава государства подчеркнул, что «умное» сельское хозяйство сегодня и на будущее – важный приоритет в борьбе с конкурентами.



Андрей Ажгиревич,
заместитель директора
по научной работе
Полесского аграрно-
экологического
института НАН
Беларуси, кандидат
биологических наук



Николай Михальчук,
директор
Полесского аграрно-
экологического
института НАН
Беларуси, кандидат
биологических наук,
доцент

Актуальность внедрения систем точного земледелия (ТЗ) в растениеводстве не вызывает сомнений и продиктована не только экономическими целями и задачами, но и потребностью в преодолении влияния таких негативных факторов и процессов, как ухудшение качественного состояния почв, деградация и снижение почвенного плодородия,

климатические изменения последних десятилетий. Кроме этого, благодаря «адресному», дифференцированному внесению удобрений на поля и точному, «очаговому» применению средств защиты растений (СЗР) ТЗ весьма способствует улучшению экологической обстановки, получению здоровой продукции растениеводства, поддержанию биоразнообразия.

Почвенный покров практически никогда не бывает однородным: даже в границах одного поля свойства почв (химические, физические, биологические) могут меняться на расстоянии 10–15 м, что особенно характерно для южной части Белорусского Полесья. У этого явления есть множество причин, среди которых – естественные, природные факторы (геоморфология и водный режим местности, состав материнской породы, характеристики почвенной биоты и др.), а также антропогенное влияние, обусловленное историей землепользования на конкретном участке, текущими приемами обработки угодий.

Многочисленные факторы взаимозависимы и влияют друг на друга, что выражается в потенциальном плодородии, варьирующем как в пространстве, так и во времени даже в пределах одного поля.

Хорошо известно, что явление неоднородности (вариативности) почвенного покрова выступает фундаментом системы ТЗ, так как требует дифференцированного подхода к обработке, посеву, внесению удобрений и мелиорантов, поливу. ТЗ базируется на многолетнем управлении почвенным плодородием и, как следствие, продуктивностью посевов (урожайностью). Многолетние исследования института (2015–2025 гг.) были посвящены не только выявлению особенностей вариативности почвенного покрова, но и поиску путей интеграции полученных данных в системы ТЗ, оптимизации методов определения зон неоднородности почвенного плодородия отдельного поля, разработке новаторских подходов к массовому анализу почв по наиболее важным агро-

химическим показателям, осмыслению последовательности внедрения элементов и приемов ТЗ в практику.

Несколько лабораторий в 2015–2018 гг. были задействованы в крупной НИР «Комплексная оценка агроэкологических рисков в условиях Полесского региона и научное обоснование способов получения новых известковых мелиорантов и органических удобрений из производственных отходов», в качестве модельных полигонов (МП) были выбраны сельхозпредприятия Брестской области. Среди широкого перечня факторов, обуславливающих снижение плодородия почв, изучались их карбонатность, степень увлажнения (гидроморфизм), критически низкая мощность гумусового (органического) горизонта, подверженность эрозионным процессам. В контексте проводимых исследований созданы детальные почвенно-агроэкологические карты, оценены риски.

Так, в результате крупномасштабного картографирования почв на МП «Высокое» (ОАО «Красный партизан») площадью 422,54 га установлена крайне высокая степень пестроты почвенного покрова по карбонатности и гидроморфизму (рис. 1), а также иногда критические рас-

хождения с данными агрохимического обследования угодий, проведенного станцией химизации. Например, найдены участки, где проявление неблагоприятных (лимитирующих урожайность) факторов охватывает более 20% их площади. Следовательно, остро необходимы корректировки при осуществлении важнейших агротехнических и организационных мероприятий (известкование почв, выделение рабочих участков, подбор культур в севооборотах, применение удобрений).

При такой высокой пестроте почвенного покрова выравнивание плодородия и нейтрализация негативных факторов

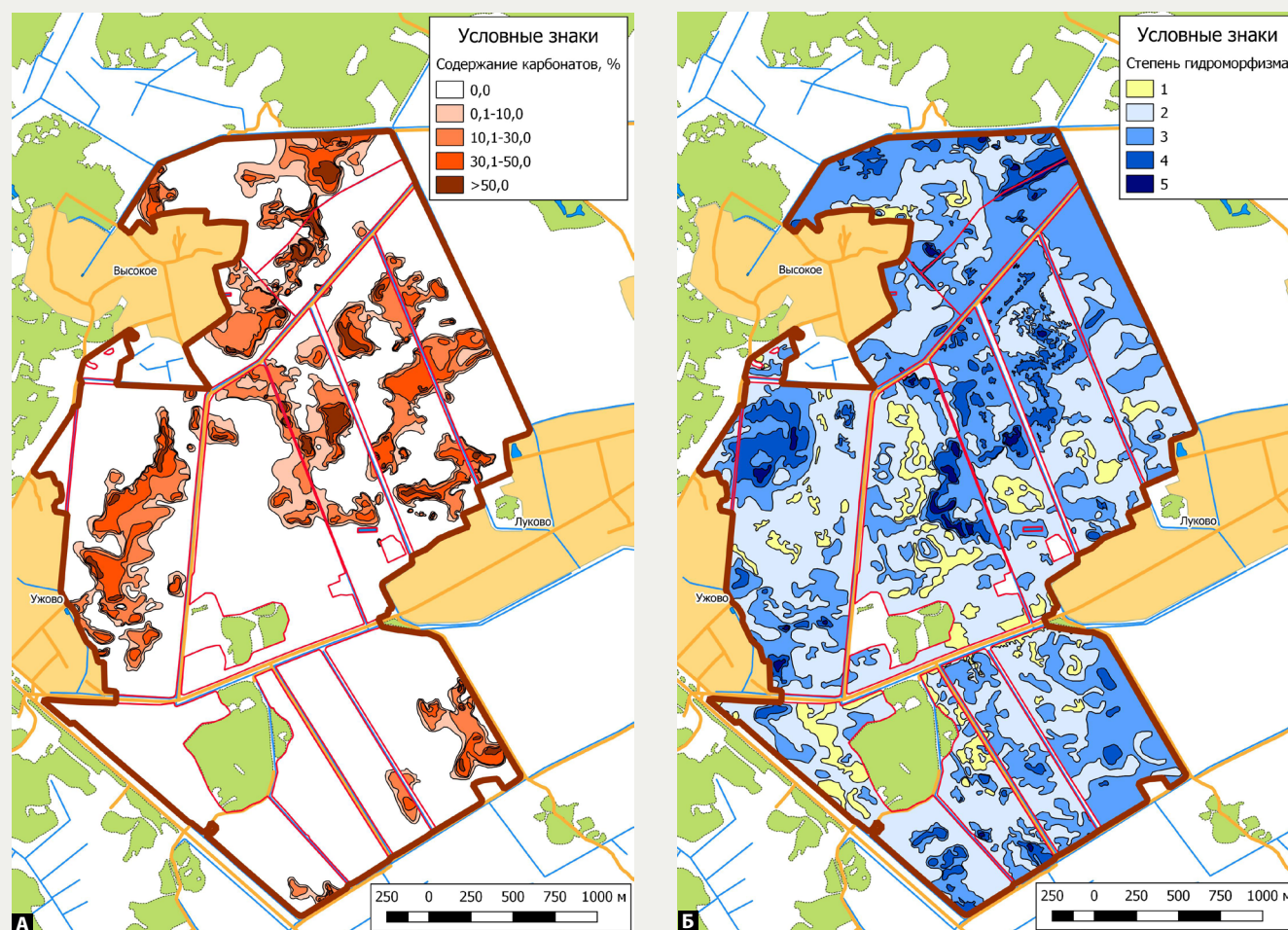


Рис. 1. Площадное распространение дерновых заболоченных карбонатных почв (А) и категорий почв по степени увлажнения (Б) на МП «Высокое»

в полной мере возможны только методами и приемами ТЗ, что и определило вектор наших дальнейших исследований.

К 2018–2020 гг. на вооружение ученых пришли новые спутниковые технологии и мультиспектральный анализ, геоинформационные системы и мощное программное обеспечение, автоматизация пробоотбора. Однако методология опробования отдельного поля все еще оставалась дискуссионной: консервативные методы отбора проб, равно как и сформированные на основе полученных агрохимических данных контуры элементарных участков, не позволяли в полной мере составить детальную и целостную картину вариативности почвенного плодородия в границах изучаемой территории, использовать скудные данные в процессе внедрения ТЗ.

С целью отработки первичных методов точного земледелия сотрудниками Полесского аграрно-экологического института совместно со специалистами ОАО «Савушкин продукт» в 2019 г. был выбран МП полигон в окрестностях д. Заболотье Малоритского р-на Брестской области площадью свыше 50 га. Опробование производилось как ручным методом, так и с помощью автоматического пробоотборника Wintex 1000, параллельно выполнялось позиционирование пробных площадок при помощи GPS, данные заносились в ГИС QGIS. Всего было заложено свыше 250 таких участков. В 2020 г. на них также были произведены учеты с целью изучения элементов структуры урожая овса посевного (*Аvena sativa*) для выявления корреляции зон неоднородности почвенного плодородия и урожайности.

Созданные при помощи гео-статистического метода кригинга вариограммы кислотности почв МП «Заболотье» (рис. 2) показывают, что для условий юго-запада Беларуси оптимальным методом оценки неравномерности пространственного распределения показателей почвенного плодородия (включая pH) является регулярная сеть опробования почв с плотностью 1 га (шаг точек отбора = 100 м) и на отдельных участках со значительной вариативностью почвенного плодородия – 0,25 га (шаг точек отбора = 50 м).

Установлено, что значительная вариативность может наблюдаться даже на площади 80–150 м², причем в масштабах отдельного поля пестрота химического состояния почв распределена пространственно неравномерно: однородные в агрохимическом отношении, относительно крупные участки чередуются с небольшими, но сильно вариативными. Разработанная серия цифровых агроэкологических

карт модельных территорий позволила с высокой точностью определять потребности конкретной территории в мелиорантах. Кроме этого, впервые для условий юго-запада Беларуси этапированы исследования внутрипольной неоднородности почвенного покрова при внедрении систем ТЗ.

В настоящее время происходит формирование предиктивного (прогнозного) типа управления урожаем благодаря развитию машинного обучения, искусственного интеллекта, внедрению 5G, умных датчиков, CRISPR-культур, роботизации и других новейших технологий. Урожайность рассматривается не как случайность, а как программируемый с высокой точностью результат. На очереди – проектирование агросистем, где риски, включая климатические, минимизированы изначально.

Перед нами стоит задача решения важного методологического вопроса, имеющего выраженный экономический подтекст: на

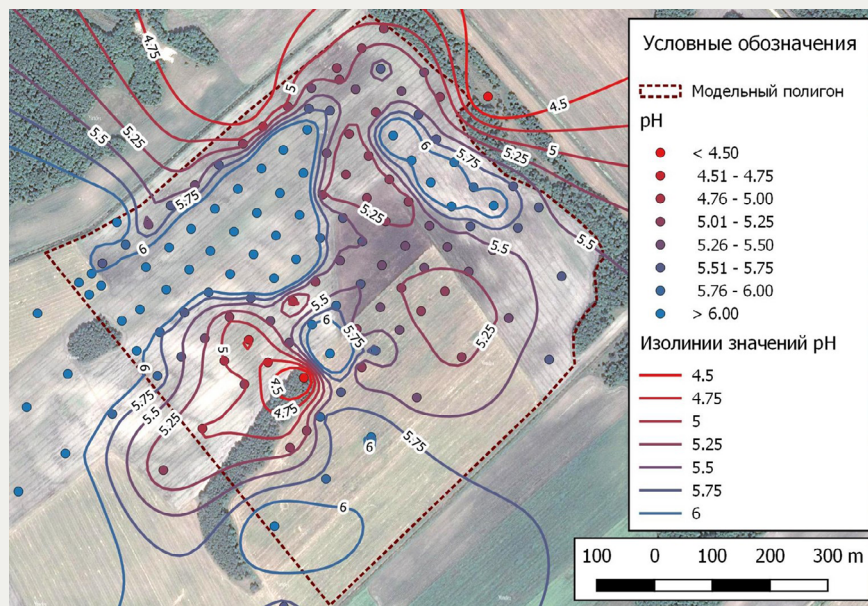


Рис. 2. Картограмма кислотности почв МП, построенная на основе сетки отбора образцов с ПП с шагом 50 м

каком уровне детализации данных об агрохимической неоднородности поля следует остановиться, чтобы обеспечить должную эффективность управления его урожайностью в целом при разумных сроках окупаемости внедряемых инноваций. Вторым, не менее важным для нас вектором дальнейших научных исследований остается поиск инновационных и дешевых экспресс-методов анализа агрохимических и агрофизических показателей почвенного плодородия, способных сократить сроки и стоимость обследования угодий в десятки раз. Весьма перспективным в этом отношении является разработка отечественного аппаратно-программного комплекса, который может быть реализован как в стационарном, так и в мобильном, «полевом» исполнении на различных платформах. Первые шаги в нашем институте уже делаются, ведется планомерное сканирование образцов почв модельных полигонов на FT-NIR-спектрометре, формируется библиотека спектров для последующего построения калибровочных моделей.

Беларусь по множеству причин имеет высокий потенциал для внедрения систем ТЗ и отдельных ее элементов. Задача отечественной науки заключается не только в создании отдельных инновационных, передовых технологий ТЗ, но и в поиске предельно рационального и системного подхода к их внедрению, уходе от сценария «технологического зоопарка» в сторону синергических и комплексных решений, обязательного экономического обоснования каждого шага и этапа во избежание неоправданных затрат конечными потребителями инноваций – предприятиями АПК. ■



Наталья Терлецкая,
старший научный сотрудник
лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического
института НАН Беларуси,
кандидат биологических наук



Анатолий Лицкевич,
заведующий лабораторией
гидроэкологии и экотехнологий
Полесского аграрно-
экологического института
НАН Беларуси

Эколого-безопасные технологии утилизации осадков сточных вод

Проблема утилизации осадков сточных вод (ОСВ) стоит достаточно остро и находится в центре внимания как организаций профильных министерств, так и научного сообщества республики. Наиболее распространенная практика обращения с ОСВ – размещение на объектах хранения и захоронения – привела к тому, что на данный момент большинство иловых площадок переполнено и является источником долгосрочного воздействия на окружающую среду, вызывая бактериальное загрязнение близлежащих территорий, поступление в почву и подземные воды тяжелых металлов, органических соединений и иных вредных веществ.

В Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси на протяжении более 15 лет проводятся многочисленные исследования по разработке технологий экологически безопасной утилизации осадков городских сточных вод (ОГСВ) и ОСВ локальных очистных сооружений перерабатывающих предприятий.

Одна из таких технологий – компостирование ОГСВ с органической частью твердых коммунальных отходов (ОТКО). Данный прием сочетает экологическую безопасность, возможность применения различных компонентов, что решает проблему несбалансированности химического состава ряда осадков, а также способствует снижению концентрации загрязнителей в компосте. Следует отметить, что в Республике Беларусь переработка ОГСВ компостированием активно проводится только в филиале «Витебскводоканал» УП «Витебскоблводоканал». На наш взгляд, основным препятствием в мультиплицировании данной технологии является

отсутствие специализированных площадок и необходимого оборудования.

В результате компостирования ОГСВ с ОТКО сотрудниками института получен компост, представляющий собой органическое удобрение под посадки лесохозяйственных культур вдоль дорог, в лесных и декоративных питомниках, цветоводстве, озеленении, при рекультивации нарушенных земель. С его использованием разработано два

состава почвогрунтов: «Универсальный» и «Грунт для хвойных» (ТУ ВУ 290061754.010–2025). В первый входит компост (20%) и грунт насыпной, применяемый при благоустройстве городских территорий (80%), во второй – компост (20%), грунт насыпной, применяемый при благоустройстве городских территорий (40%), и торф (40%). Как показали результаты проведенных нами исследований, разработанные почвогрунты по водно-физическим и агрохимиче-



Компостирование ОГСВ и ОТКО



Иловая карта

ским свойствам превосходят традиционные. Установлено их положительное действие и последствие на рост саженцев деревьев лиственных и хвойных пород, формирование газонов.

К числу перспективных направлений относится переработка ОГСВ с использованием микробиологических препаратов. Учеными института разработаны технологический регламент по биопереработке малоопасных ОСВ городских очистных сооружений, технические условия на «Удобрения органические улучшенного состава с добавлением осадков сточных вод» (ТУ ВУ 290061754.006–2019) и «Почвогрунты с использованием осадков сточных вод» (ТУ ВУ 290061754.007–2019). Для производства удобрения используется подстилочный навоз КРС и осадки очистки сточных вод на очистных сооружениях массовой долей не более 10%, подвергнутые переработке комплексом микробиологических препаратов «Антойл+» и «Деаммон». Установлено, что полученные удобрения как в прямом действии, так и в последствии способствуют существенному увеличению урожайности и питательной ценности зеленой массы кукурузы и улучшению водно-физических и агрохимических свойств почв. Кроме того, растениеводческая продукция по максимально допустимому уровню тяжелых металлов соответствует нормативам для зеленых кормов.

Почвогрунты получают путем частичной замены торфяного компонента тепличных грунтов упомянутыми отходами городских очистных сооружений объемной долей до 12,5%. Их применяют при выращивании сальвии, матрикарии, урси-

нии, колеуса, петунии, цинерии и других цветочных культур, а также для мульчирования газонов.

Эффективным и малозатратным технологическим приемом, обеспечивающим переработку ОСВ, является анаэробное сбраживание с последующим обезвреживанием. На его основе получено удобрение, предназначенное для повышения – я плодородия низкобонитетных почв агроудий, увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и качества газонов и подготовлена техническая документация на эту разработку. По содержанию органического вещества и питательных элементов удобрения не только не уступают традиционным, но даже превосходят их, что подтверждает целесообразность их использования. Они положительно влияют на агрохимические свойства почвы и, как следствие, продуктивность сельскохозяйственных культур.

Сотрудниками института разработана техническая документация на продукцию с использованием ОСВ для ОАО «Березовский сыродельный комбинат», СП «Санта-Бремор» ООО, ОАО «Верхнедвинский масло-сырзавод», ОАО «Поставский молочный завод», ОАО «Рогачевский МКК», ОАО «Пружанский молочный комбинат», Щучинский филиал ОАО «Молочный мир», а также для предприятий коммунального хозяйства КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод», ГП «Гомельводоканал» и предприятий ООО «ДельтаГаз».

На проекты указанных технических условий получены заключения государственной экологической экспертизы о соответствии их требованиям законодательства об охране окружающей среды и

рациональном использовании природных ресурсов.

Совместно с Институтом ЖКХ НАН Беларуси и Витебским ЦСМС учеными института разработан СТБ 2668–2024, в котором установлены требования к органическим удобрениям, почвогрунтам, субстратам для рекультивации с использованием ОСВ, соответствующих по своему составу отходам 4-го класса опасности. Данный технический нормативный правовой акт позволяет на страновом уровне дифференцированно, экологически безопасно применять продукцию из ОСВ в зависимости от ее состава.

Научно обоснованное использование ОСВ сдерживается тем фактором, что они не являются объектами обязательного аналитического контроля. Как следствие, не известны состав и свойства как вновь образующихся осадков, так и свыше 14 млн т депонированных на объектах хранения, включая иловые площадки, на которых ОСВ хранятся на протяжении длительного периода. Очевидно, что определение состава ОСВ по установленному перечню показателей позволит выбрать дальнейший оптимальный и безопасный путь их переработки и использования. В Полесском аграрно-экологическом институте создан прототип информационно-аналитической базы данных о составе ОСВ в отношении 12 городов Беларуси.

Таким образом, специалистами института внесен значительный вклад в решение проблемы экологически безопасного обращения с ОСВ в республике, работы в данном направлении продолжаются и, бесспорно, представляют практический интерес. ■



СИЛЬФИЯ ПРОНЗЕННОЛИСТНАЯ —

*Новая кормовая,
средостабилизирующая,
медоносная культура*



Марина Пастухова,
заведующий отраслевой научно-
исследовательской лабораторией
качества кормов Полесского
аграрно-экологического института
НАН Беларуси, кандидат
сельскохозяйственных наук

Одной из приоритетных задач отечественного животноводства является оптимизация кормовой базы, удешевление кормов, уменьшение себестоимости готовой сельскохозяйственной продукции. Для ее решения агропредприятия вынуждены вовлекать в производство все имеющиеся земельные ресурсы, включая и малопродуктивные, в том числе нарушенные и деградирующие земли, что влечет дополнительные затраты. В то же время интенсификация их возделывания без учета экологических ограничений может приводить к расширению масштабов их деградации, а также дестабилизации агроэкосистем. Одним из альтернативных вариантов использования земель, подверженных агроэкологическим рискам, является адаптивно-ландшафтная система земледелия. Современные требования к уровню животноводства и качеству кормовой базы указывают на очевидную необходимость расширения ассортимента новых культур, обладающих долголетием продуктивного использования, высокой урожайностью, повышенной агроэкологической пластичностью и энергонасыщенностью, способностью наиболее эффективно задействовать агроресурсный потенциал угодий.

Большой интерес представляют новые перспективные кормовые культуры, способные формировать высокие урожаи в течение длительного времени (более 10–15 лет), такие как силфия пронзеннолистная. По показателю долголетия и использования ей нет равных, что делает растение незаменимым для агроэкологически проблемных почв. Его зеленая масса характеризуется высокой питательностью вне зависимости от экологической зоны возделывания. Силфия эффективно применяется как силосная культура, обладающая хорошей отавностью, и, с учетом двух укосов в течение вегетационного периода, может быть использована в качестве ценного зеленого корма с высоким содержанием обменной энергии (11,3 МДж/кг СВ) и протеина (20–24%/кг СВ). В структуре белка определено 15 аминокислот, среди них – 4 лимитирующих, содержащих 1,97% лизина, 1,7% метионина, 0,69% гистидина и 2,98% лейцина в 100 г белка, что обеспечивает благоприятное действие на жизнедеятельность микрофлоры рубца КРС.

Силос из силфии пронзеннолистной, заложенный в фазе «полное цветение – созревание семян», за 3 года исследований в среднем характеризуется следующими показателями: сухого вещества – 24,8%; сырого протеина – 9,2%; сырой клетчатки – 27,5%; сырого жира – 3,6%. В одном кг сухого вещества содержится 0,9 ЭКЕ; обменной энергии – 10,0 МДж/кг. Культура отличается высокой нектаро- и медопродуктивностью, что позволяет использовать ее в качестве перво-степенного позднелетнего медоноса. Период цветения в условиях Брестской области – июль–август, нектаропродуктивность 1 га посевов – около 135,9 кг. По этому пока-

зателю она превосходит лядвенец в 16,2 раза, донник в 2,5, иссоп в 1,5 раза. При этом уступает традиционно доминантным медоносам фацелии в 2,2 и синяку – в 2,7 раза.

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси ведет работу с силфией пронзеннолистной с 2013 г., в рамках проекта инновационного фонда Брестского облисполкома институтом разработан технологический регламент ее возделывания. К настоящему времени культура представлена на экспериментальных участках сельскохозяйственных предприятий Брестского, Березовского, Малоритского, Каменецкого, Жабинковского, Ивановского, Кобринского районов. Ее биологические особенности и потенциальная хозяйственная ценность продолжают изучаться в условиях следующих почвенных разновидностей Брестской области: дерново-подзолистая песчаная, супесчаная, суглинистая почвы; дерново-глеевая песчаная и связнопесчаная; дерново-подзолисто-глееватая карбонатная; торфяно-минеральная; торфяно-болотная антропогенно преобразованная; торфяно-глеевая почва. Нами установлено, что тип почвы оказывает существенное влияние на формирование урожайности зеленой массы силфии пронзеннолистной. Максимальные показатели достигаются на четвертый год жизни (81,6–157,1 т/га), что связано с ежегодным увеличением количества стеблей, и сохраняется в течение всего периода жизни растений на одном местообитании (более 20 лет).

Независимо от типа почвы генеративные побеги формируются со второго года жизни, их количество ежегодно увеличивается до четвертого года; на третий формируется в среднем от 12 до 17 стеблей, а на четвертый – 22–27.

Высота стеблестоя к концу вегетационного периода в среднем составляет от 170,7 до 210,3 см. Во второй год жизни независимо от почвенных условий наибольшая урожайность достигается при схеме размещения растений 40×70 см, при посадке 70×70 см снижается в 1,2–1,7 раза. С увеличением площади питания общая урожайность за два укоса падает. На третий год силфия дает высокую общую урожайность зеленой массы – от 49,1 до 100,1 т/га, на четвертый – от 81,6 до 157,1 т/га в зависимости от почвенных условий возделывания культуры.

Опыт работы с силфией показал, что она обладает широкой экологической амплитудой возделывания и высоким коэффициентом размножения. Основные достоинства – высокая урожайность и многолетнее использование на освоенном местообитании. Возможно ее выращивание на мелкоконтурных участках с низким почвенным плодородием, торфяных почвах, неудобицах и других категориях земель, подверженных риску быстрого разрушения плодородного слоя и требующих длительного периода реабилитации. Вдобавок ее посевы сдерживают процессы ветровой эрозии, минерализации органического вещества, а также уменьшают интенсивность механической обработки почвы, что обеспечивает устойчивость агроландшафта и воспроизводство плодородия.

Размещение плантаций на уплотненных минеральных почвах в условиях Брестской области на долгосрочную перспективу является экологически рациональным способом улучшения их водно-физических характеристик. Нашими исследованиями отмечена тенденция к снижению плотности от 1,43 г/см³ до

1,33 г/см³ пахотного слоя (0–20 см) дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы с четвертого года жизни посадок культуры за счет роста и развития мощной корневой системы.

Весьма значимое достоинство культуры – ее холодостойкость. Подмерзание всходов отмечено только в отдельные годы на торфяной почве в первый год жизни. В последующем они выдерживали кратковременные весенние заморозки, в отличие от кукурузы, что необходимо учитывать как несомненное преимущество. К тому же применение химических средств защиты силфий нужно только в первый год ее возделывания, что снижает общую антропогенную нагрузку на агроландшафт.

Агробиологические особенности, агроэкологическая пластичность данного многолетника позволяют оптимизировать использование пахотных земель и получать более дешевый корм по сравнению с традиционными культурами, поскольку основные затраты при возделывании приходятся на первый год его жизни. На второй год исключаются практически все технологические этапы (вспашка, культивация, посев, прикатывание и др.), а также стоимость семенного материала и средств защиты растений. Поэтому заметно сокращаются общие расходы на все операции, а их окупаемость обусловлена возможностью получения высоких урожаев. Существенное превосходство наблюдается с треть-

его года жизни плантаций, когда урожайность в среднем достигает 85,7 т/га, в то время как у кукурузы этот показатель составляет до 70,0 т/га. Экономическая эффективность использования малопродуктивных сельскохозяйственных угодий под силфию без учета экологических факторов достигает 40%.

Таким образом, создание средостабилизирующих агрофитоценозов комплексного назначения на основе этой культуры является одним из наиболее рациональных решений проблемы эффективной эксплуатации посевных площадей агроэкологически проблемных ареалов агроландшафтов. На сегодняшний день силфия произвольно зарекомендовала себя в качестве наиболее приемлемой альтернативы кукурузе. ■

Орхидный пояс Полесья



Николай Михальчук,
директор Полесского
аграрно-экологического
института НАН Беларуси,
кандидат биологических
наук, доцент

Стратегия сохранения генетических ресурсов растений предполагает прежде всего обеспечение их развития в условиях *in situ*, в естественной среде, в конкретных сообществах – здесь проявляется их эволюционная и экологическая сущность. Наиболее успешно она может быть реализована путем создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В силу ряда причин на протяжении многих десятилетий при обосновании новых ООПТ в Белорусском Полесье внимание ученых было сконцентрировано (и зачастую продолжает фокусироваться) на водно-болотных угодьях. Признавая их исключительную роль в сохранении ландшафтного и биологического разнообразия региона, следует отметить, что в строгом биогеографическом смысле они относятся к числу интразональных систем. Типично зональные сообщества обычно формируются в автоморфных условиях хорошо дренируемых территорий. Их эталоном в границах южной геоботанической подзоны являются дубравы (грабовые как климатически замещенный вариант формации дубовых лесов). Плакорные дубравы – потенциальные первоочередные приоритеты общеевропейского биоразнообразия. Однако, учитывая специфику Полесского региона, которая определяется повышенным гидроморфизмом территории, необходимо признать известную условность категории «автоморфный плакор».

Влияние природных вод преобладающего в Полесье гидрокарбонатно-кальциевого класса на формирование ландшафтов выразилось в том, что периоды с усиленным выпотным водным режимом фиксировались в суперкальвальных условиях четкими генерациями карбонатных отложений в почвах. Они весьма характерны для островных участков в границах крупных древнеозерных котловин и их береговых зон, для краевых зон повышений в пределах I и II надпойменных террас Припяти и некоторых ее крупных притоков. В результате образовались своеобразные гидрогенно-карбонатные ландшафты (ГКЛ) с кальцием в качестве типоморфного элемента в почвах. Образуют сопряжения с фациями низинных болот и занимая в «море» подзолов и торфяно-болотных почв Белорусского Полесья площадь до 450 тыс. га, они резко выделяются высокими уровнями видового богатства флоры.

Для представительной группы кальциефильных видов растений наличие в почвах карбоната кальция, а также нейтральная или слабощелочная реакция среды являются постоянными и необходимыми эдафическими факторами. Среди этих видов чаще других отмечаются представители семейства *Orchidaceae* Juss – однодольных многолетних наземных или эпифитных травянистых растений, насчитывающих около 800 родов и более 20 тыс. видов, в Республике Беларусь – 21 род и 40 видов. Большинство из них известно и для территории Белорусского Полесья; эндемичные виды отсутствуют.

Орхидные – одно из наиболее высокоспециализирован-

ных и, вследствие этого, уязвимых семейств фитобиоты, большинство представителей которого чувствительно реагируют на изменения среды обитания. В этой связи преобладающее их большинство включено в Красные книги и аналогичные издания для многих стран. Так, в 4-е издание Красной книги Республики Беларусь (2015) вошли все известные на тот момент для территории страны орхидные: основной список (категориальные виды) – 24, список видов, нуждающихся в профилактической охране – 11. Еще 3 вида считаются регионально утраченными – венерин башмачок крапчатый (*Cypripedium guttatum*), пыльцеголовник крупноцветковый (*Cephalanthera damasonium*) и кокушник ароматнейший (*Gymnadenia odoratissima*) и внесены в «черный список». Таким образом, все виды орхидных флоры Беларуси требуют соответствующих мер охраны.

Показательно, что приблизительно третья часть орхидей белорусской флоры тяготеет к карбо-

натным почвам. Наиболее надежным их индикатором выступает *Cypripedium calceolus* L. – вид, первым взятый под охрану в Европе (1878 г., Швейцария). Созологический статус Красной книги Республики Беларусь (2015) – III-я категория (VU) – уязвимый вид. В Списке редких и находящихся под угрозой исчезновения на территории нашей страны видов, включаемых в Красную книгу (2025 г.), охраненный статус вида поднят до II категории (EN) – исчезающий. Занесен в Приложение II к Конвенции СИТЕС, в Приложение I к Бернской конвенции и в Приложение II к Директиве Европейского союза о местах обитания. Венерин башмачок обычно обнаруживается в богатых орхидейных сообществах и его можно использовать как «зонтик» (по N. Florense, 2005) в мониторинговых исследованиях и управленческих планах.

К концу XX ст. вид находился под строгой охраной во всех европейских странах. Однако ставшее

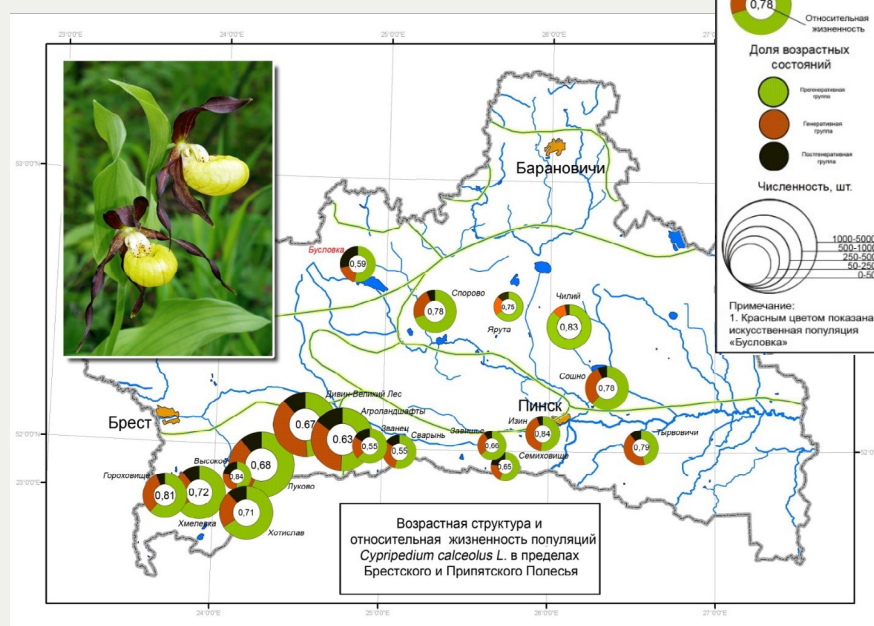


Рисунок. Распространение и основные демографические характеристики популяций *C. calceolus* – «зонтичного» вида в границах Орхидных поясов Полесья

уже почти хрестоматийным мнением о скором выпадении вида из состава изучаемых флор к счастью оказалось ошибочным. Во всяком случае в отношении территории Республики Беларусь.

На основании ландшафтно-геохимических подходов идентификации биоцентров флоры на территории Брестского и Припятского Полесья на протяжении последних 20 лет нами выявлено свыше 80 местонахождений *C. calceolus* общей численностью около 30 тыс. побегов, что оценочно составляет 10–15% европейской популяции вида и несколько нивелирует опасения составителей Списка-2025 по поводу его исчезновения. Наиболее крупные популяции находятся в Кобринском районе (биологический заказник местного значения (БЗМ) «Дивин-Великий Лес», система островных дендроучастков в агроландшафтах ОАО «Днепробугское»), Малоритском районе (Государственный биологический заказник (ГБЗ) «Луково», БЗМ «Хмелевка»), Пинском районе (БЗМ «Изин», «Ярута»), а также в ряде перспективных для охраны объектов («Сварынь», «Сошно», «Чилий» и др.) (рисунк).

Вышеперечисленные ООПТ, а также некоторые другие (например, ГБЗ «Тырвовичи», БЗМ «Хотиславский», ботанический памятник природы «Высокое») в пределах Малоритской равнины и Средне-Припятской низины образуют ряд (в прямом смысле этого слова) заповедных и перспективных для охраны территорий, связанных между собой непосредственной топографической близостью, относительной континуальностью растительности, флористической родственностью, в том числе и в отношении охраняемых видов, и формируют

своеобразный пояс, названный нами Орхидным (Н.В. Михальчук, 2004, 2015).

На его территориях отмечается 27 видов сосудистых растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь (2015), что составляет более 14% от числа категориальных видов издания. Наиболее репрезентативными в данной группе Орхидные – 8 видов (или 29,6% от числа выявленных охраняемых таксонов); остальные семейства представлены 1–3 видами. Кроме *C. calceolus* в группе орхидей представлены: *Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch. (III), *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. (III), *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Brnh.) Bess. (III), *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br. (III), *Listera ovata* (L.) R. Br. (IV), *Orchis mascula* L. (II), *Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb. (III).

В границах Орхидного пояса также установлены местообитания 27 видов, занесенных в список видов дикорастущих растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране (23,4% его объема). Среди них 5 видов орхидей: *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo, *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Epipactis helleborine* (L.) Crantz., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich.

Концептуально идея Орхидного пояса Полесья наиболее близка основным положениям международной программы «Ключевые ботанические территории» («Important Plant Areas» – IPA), а два объекта – БЗМ «Дивин-Великий Лес» и ГБЗ «Луково» в полной мере удовлетворяют критериям отнесения их к категории IPA.

Проведенные полевые исследования в лесных массивах левобережья среднего и нижнего течения р. Ясельда с использованием ландшафтно-геохимического

подхода позволили найти ряд новых местонахождений орхидных. Так, в Поречском лесничестве Телеханского лесхоза выявлены участки обитания 6 охраняемых видов растений, среди которых 4 орхидные: *C. calceolus*, *Dactylorhiza majalis* (Reichenb.), *P. chlorantha*, а также места локализации 4 видов, нуждающихся в профилактической охране. В результате в 2018 г. создан БЗМ «Ярута» площадью 735 га. В Сошненском лесничестве Пинского лесхоза установлены места произрастания нескольких представительных популяций *C. calceolus*, общей численностью свыше 1 тыс. побегов и отличающихся высоким уровнем относительной жизненности, в урочище «Иванисовка» Логишинского лесничества – 3 охраняемых видов: *C. calceolus*, *Lilium martagon* L., *P. chlorantha*, а также 5, нуждающихся в профохране. Все эти локалитеты в дополнение к ранее установленным в ГБЗ «Споровский» могут быть объединены во второй Орхидный пояс в границах Ясельдинско-Случеской низины. Нами прогнозируется также наличие представительных флористических комплексов с участием орхидных в границах Выгонощанского лесоболотного массива.

Концепция Орхидного пояса Полесья нашла одобрение и оценена научным сообществом Республики Беларусь. Так, в работе Г. И. Марцинкевич, Г. А. Кириченко (2022) он отнесен к числу уникальных ботанических комплексов на территории Беларуси. Н. В. Савина, С. В. Кубрак, Л. В. Милько, А. В. Кильчевский и др. (2023) подчеркивают его значение в гарантированном сохранении генофонда семейства *Orchidaceae*, которым грозит исчезновение. ■

Ландшафтно-биологическое разнообразие биосферного резервата «Прибужское Полесье»



Виктор Демянич,
заведующий лабораторией
оптимизации экосистем
Полесского аграрно-
экологического института
НАН Беларуси, кандидат
биологических наук, доцент



Научные инициативы белорусской стороны в направлении формирования биосферного резервата предпринимались с середины 90-х гг. В 2001 г. была составлена программа и начались практические работы по осуществлению научного проекта «Создание международной особо охраняемой территории «Западное Полесье» на границах Беларуси, Польши, Украины (белорусский сектор)» под эгидой ЮНЕСКО.

В 2002 г. в результате исследований ученых и специалистов Отдела проблем Полесья НАН Беларуси, Брестского госуниверситета, УП «БелНИЦзем», Белорусского государственного университета было составлено обоснование образования республиканского ландшафтного заказника «Прибужское Полесье», которое было объявлено постановлением Совета Министров Республики Беларусь 30 мая 2003 г. Целью его создания на территории Брестского района площадью 7,95 тыс. га является сохранение в естественном состоянии уникального природного ландшафта с популяциями редких и исчезающих видов растений и животных, охрана редких лесных биоценозов и геоморфологических образований на территории, занимающей важное место в международной сети особо охраняемых природных локаций, сохранение традиционно используемых мало нарушенных ландшафтов. Здесь тогда было отмечено 24 вида растений и 81 вид животных (в том числе 25 видов насекомых, 1 – рыб, 1 – земноводных, 2 – рептилий, 45 – птиц и 7 видов млекопитающих), включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

С образованием заказника «Прибужское Полесье» на стыке трех государств сформировался крупный сплошной ареал охраняемых природных территорий: резерваты «Прибужское Полесье» (Беларусь), «Западное Полесье» – «Народовый парк Полесский» (Польша), национальный парк «Шацкий» (Украина). Международный координационный совет МАБ ЮНЕСКО (г. Париж) 29 октября 2004 г. рассмотрел и утвердил номина-

ционную заявку на включение «Прибужского Полесья» в список биосферных резерватов ЮНЕСКО, утвердив тем самым его высокий международный статус природоохранной значимости. Это также означало появле-

ние в Беларуси третьего (после Березинского заповедника и Беловежской пущи) объекта столь высокого экологического ранга. И, наконец, это свидетельствует о большом международном успехе в деле охраны природы

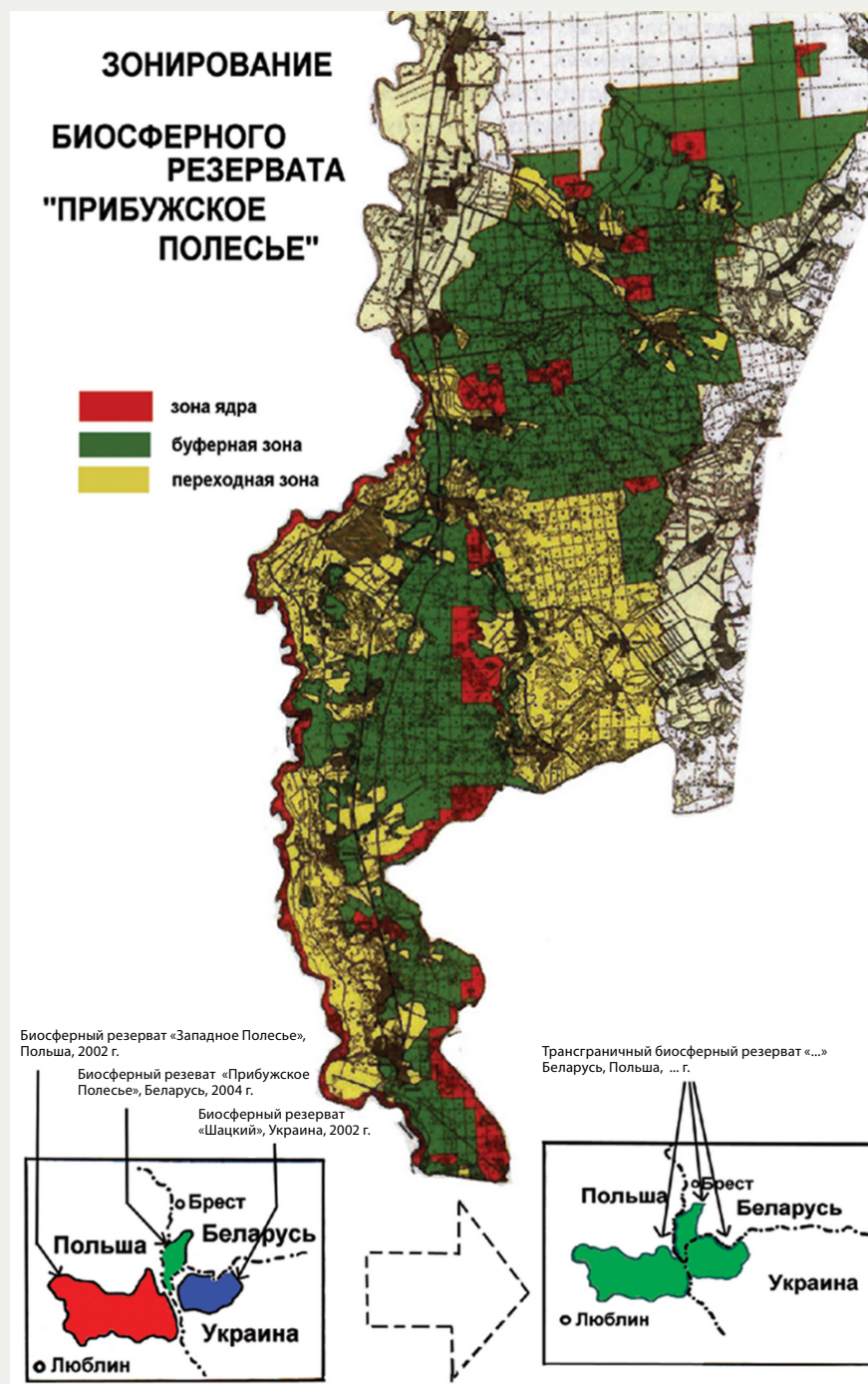


Рис. 1. Зонирование биосферного резервата «Прибужское Полесье»

Брестского района. Обоснование природных ценностей и последующее возникновение биосферного резервата в пределах исключительно одного административного района – пожалуй, единственный случай в европейской практике (рис. 1).

Резерват «Прибужское Полесье» в декабре 2004 г. получил диплом ЮНЕСКО.

Кроме разработанных научных и технико-экономических обоснований штатные сотрудники лаборатории и волонтеры не прекращают начатые еще в 1983 г. ежегодные обследования ландшафтно-биологического разнообразия этих территорий, по ходу которых уточняется видовое богатство фауны и флоры, выполняются плановые НИР в научных стационарах «Томашовка», «Белое озеро».

На особом учете – изменения биологического разнообразия. В этом наиболее теплообеспеченном уголке Беларуси вполне ожидаемы различные отклики живой природы на потепление климата. В последние десятилетия здесь удалось впервые за всю историю документально подтвердить устойчивое обитание крупного хищника – шакала золотистого. Не отстают в территориальной экспансии и, казалось бы, совсем малоподвижные существа. В 2025 г. на солнечных косогорах дюны отмечены целые гроздья типичного для полупустынь и сухих степей моллюска – улитки степной обыкновенной. В таких экстремально пересыхаемых местообитаниях другие виды наших аборигенных моллюсков жить неспособны.

Водохранилище Орхово стало беспрецедентным сравнительно крупным водоемом Беларуси по изобилию канадского сома.

Иногда даже радикальные вмешательства в ландшафт резер-



Рис. 2. Королевский папоротник, июнь 2025 г.

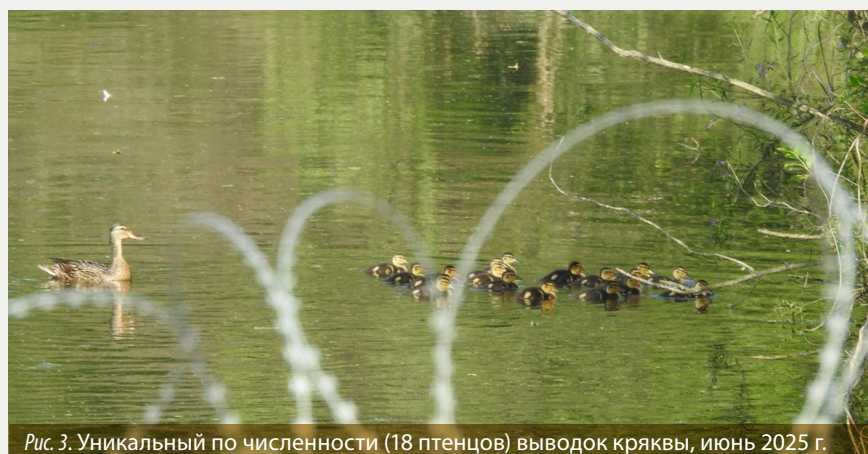


Рис. 3. Уникальный по численности (18 птенцов) выводок кряквы, июнь 2025 г.

вата оборачиваются в природный позитив. В последние годы именно на действующих эксплуатируемых карьерах замечены колонии одной из самых красивых и редких птиц нашей страны – щурки золотистой.

Прирастает видовым богатством и флора. Кладофора, носток – охраняемые виды водных растений, появились сразу в нескольких местах резервата.

Величественные особи единственного в стране местопроизрастания в природных условиях строго охраняемого вида королевского папоротника, как ни парадоксально, лучше всего благоденствуют в прокашиваемой полосе отчуждения автодороги (рис. 2).

Абсолютной сенсацией сезона 2025 г. в ходе мониторинга ланд-

шафтно-биологического разнообразия резервата стала самка кряквы, успешно вырастившая одновременно 18 утят (рис. 3).

Аналогов в научной литературе нами не найдено. В норме у этой хорошо известной даже многим горожанам утки 6–8, в редчайших случаях до 11 и даже 16 яиц, птенцов всегда гораздо меньше. Фотоснимки этой «многодетной мамочки» удалось сделать непосредственно на белорусско-украинской границе, что в очередной раз подтверждает существенную роль трансграничного биосферного резервата «Западное Полесье» в сохранении ландшафтно-биологического разнообразия Полесья, Беларуси, Европы. ■

Материалы рубрики подготовила
Ирина Атрошко

Сущность и характерные черты белорусской экономической модели и белорусской экономической школы



Владимир Гусаков,
заслуженный деятель науки
Республики Беларусь,
академик

Белорусская социально-экономическая модель отличается значительной специфичностью, определяемой рядом обстоятельств – исторической преемственностью, учетом интересов разных групп товаропроизводителей и всех основных категорий населения, существующими условиями и возможностями адаптивности, отказом от радикальных реформ и принятием стратегии поэтапного совершенствования (особенно это наглядно проявилось в период развала Советского Союза, когда Беларуси насаждались требования зарубежных экспертов и советников по тотальному отказу от советского наследия и всеобщему проведению их указаний по разгосударствлению собственности и приватизации предприятий и средств производства), сохранением сквозного государственного участия и высокого уровня госсобственности (особенно на земли сельскохозяйственного назначения, крупные предприятия и институты финансовой политики, науку и образование), основной ставкой на реальный сектор экономики и крупные

товарные предприятия, работой всех субъектов хозяйствования на интересы государства, ставкой на отечественную науку и инновационность, а также приоритетной экспортоориентированностью готовой качественной продукции при условии ее высокой конкурентоспособности. Есть и ряд других сопутствующих и даже эксклюзивных признаков белорусской социально-экономической модели. Например, сквозное прямое правовое обеспечение всех форм предприятий и видов хозяйственной деятельности (что исключает двойное толкование, возможность теневых форм и создает необходимую прозрачность системе организационных, экономических и товарных отношений), равное участие различных субъектов хозяйственного права в государственных целевых программах развития (инвестиционных, кредитных и др.), что придает экономике стратегическую плановость и предсказуемость, соответствие всей деятельности субъектов интересам государства и потребительскому спросу, а также работа разных типов предприятий и организаций в рамках единой ценовой политики и пр.

Все это в совокупности создает целостную систему мер и отношений, надежную производственно-экономическую базу для устойчивого функционирования и поэтапного программно-целевого развития национальной экономики. А также почти исключает возможность внутренних экономических кризисов и противоречий и сглаживает влияние внешних негативных вызовов. А при появлении некоторых локальных проблем, связанных, например, с финансированием, инвестированием, модернизацией или сбытом, предпринимаются

неотложные меры как самими субъектами, так и государством в рамках многих действующих программ и законодательных гарантий для их оперативного решения. Это вполне нормально, поскольку предприятия развиваются, проходят разные стадии жизненного цикла, модернизируются, стремятся соответствовать требованиям конкурентоспособности, внедряют инновации, совершенствуют структуру производства и естественно переживают некоторые сложности. На помощь приходит государство, и совместными усилиями находят приемлемые решения.

Данная социально-экономическая модель проверена временем и доказала свою жизнеспособность на протяжении более тридцатилетнего периода суверенного развития страны. Некоторые аналитики и эксперты называют ее даже белорусским феноменом, когда в окружении открыто рыночных стран белорусская модель с ее сильными централизованными регуляторами и государственным участием (что в немалой мере является гарантией устойчивости) может относительно стабильно развиваться и выстраивать долгосрочные прогнозы позитивной динамики.

Безусловно, такая модель вызывает немалый интерес ученых и специалистов и не может не иметь соответствующего научного осмысления. В самом деле, как так происходит, что относительно небольшая страна – Беларусь, которая находится между двумя огромными рыночными экономиками (на Западе – Европейский союз, на Востоке – Российская Федерация), имеет свою особенную социально-экономическую модель с сильным государственным участием и контролем и являет собой островок стабильности и устойчивости без видимых потрясений, в то время когда даже мировые экономические процессы находятся в состоянии турбулентности, а между наиболее крупными странами происходят непрерывные торговые войны за лидерство и за доминирование? Практика показывает и одновременно убеждает, что сравнительно небольшая белорусская экономика планомерно развивается в неспокойном мире именно благодаря сквозному государственному участию. В противном случае выжить, сохраниться и демонстрировать свою экономическую стабильность просто невозможно. Известно ведь, что государство в Беларуси контролирует не только непосредственно государственный сектор, но и все другие секторы экономики – частный, с иностранным участием и иные. И при необходимости всем оказывает равнозначную поддержку – финансовую, кредитную, материальную и пр.

Конечно, рассматриваемая белорусская экономика имеет двойственную природу. С одной стороны, она стремится работать на рыночных принципах и обеспечивать свою конкурентоспособность, как и аналогичные субъекты хозяйствования в других странах, а с другой – вынуждена подчиняться безусловному государственному контролю, работать в интересах государства (а не только на свои потребности) и представлять собой единый экономический комплекс страны. Естественно, это накладывает дополнительные функции и обязанности как на субъекты хозяйствования всех форм, так и на государство. Предприятия и организации коммерческого и некоммерческого плана вынуждены непременно следовать государственной политике (пусть это даже некоторым не нравится; правда, когда возникают трудности, тогда все однозначно апеллируют именно к государству, находя в нем партнера), а государство взяло на себя обязательства контролировать, регулировать и обеспечивать устойчивое функционирование всех видов и субъектов хозяйствования, независимо от организационно-правовых форм. Складывается своеобразное государственно-хозяйственное (частное) партнерство, но не только в отношении каждого субъекта хозяйствования в отдельности, а в масштабах всей экономики. Это, конечно, несколько умаляет самостоятельность субъектов хозяйствования, но гарантирует бескризисность и безопасность. Многие предприятия и организации отдают приоритет покровительству государства по сравнению с полной самостоятельностью в непредсказуемых рыночных условиях. Такой государственный патернализм по отношению к национальной экономике выгоден всем, и не только субъектам хозяйствования, но и другим структурам различных сфер. Например, благодаря этому устойчиво развивается сфера образования, здравоохранения, бытового обслуживания и пр. Надо подчеркнуть, что это также своего рода феномен экономики Беларуси, отличающий ее от многих аналогичных экономик в других странах.

Именно целый ряд специфических черт и отличительных характеристик белорусской экономики, как уже подчеркивалось, привлекает внимание специалистов разного толка – политологов, аналитиков, международных и других, среди которых, конечно, ученые-экономисты. Эта особенность и специфичность вкупе с целесообразностью и эффективностью вызвала необходимость создания специального объединения ученых – Белорусской экономической школы, которая не только могла бы активно, широко и объективно позиционировать

достоинства и преимущества белорусской социально-экономической модели, но и развернуть системные теоретические и методологические ее исследования, а также обосновать ее роль и место как в белорусском обществе, так и в контексте международных экономических отношений.

Такое объединение ученых-экономистов было создано при Институте экономики Национальной академии наук Беларуси уже более 10 лет назад и притягивает к себе внимание: организацией и функционированием самого объединения, приоритетностью белорусской социально-экономической модели. За все эти годы Белорусская экономическая школа приобрела известность, ее членами стали многие видные отечественные ученые-экономисты.

В рамках объединения проведены многие научные мероприятия – конференции, семинары, круглые столы и пр. Все научные материалы Института экономики издаются под рубрикой «Белорусская экономическая школа», и главным из них, без преувеличения, стала научная монография «Белорусская социально-экономическая модель», где национальная белорусская экономика рассмотрена с разных сторон, но как целостная система организации, управления, функционирования, финансово-кредитного и материального обеспечения, производства и сбыта продукции, развития сферы обслуживания и пр. В настоящее время готовится второе обновленное издание монографии, в котором учтены новейшие факты развития экономики страны и показаны достижения разных сфер и отраслей в контексте быстро меняющихся международных отношений. Безусловно, монография – не только объективная демонстрация преимуществ белорусской социально-экономической модели, но и визитная карточка Белорусской экономической школы.

Иногда возникает вопрос: почему сравнительно малая страна с непродолжительным периодом развития (30–35 лет) – Республика Беларусь – смогла сформировать экономическую школу, если это, как правило, удел крупных экономик с большой историей и длительным периодом формирования специфики экономических отношений, обладающих бесспорными особенностями? Так, в мире известны английская экономическая школа (формируется со времен А. Смита, Д. Рикардо и У. Петти), австрийская (создается более 100 лет и известна своей эффективностью), американская (существует более 100 лет, а ее многие представители стали лауреатами Нобелевской премии), немецкая (попеременно показывающая свои сильные стороны и в первую очередь способствующая высокому качеству производства)

и пр. И тут в новейшей истории на обломках бывшего Советского Союза возникает новое государство – Республика Беларусь как субъект мирового права и заявляет о формировании своей национальной социально-экономической модели развития со своими эксклюзивными особенностями, а вместе с ней и собственной экономической школы, которая имеет бесспорные отличия от других.

Можно данную научную школу и модель экономики признавать или не признавать, это удел теоретиков и аналитиков. Но факты говорят сами за себя. Да, действительно, в Республике Беларусь создана и успешно функционирует в новейшее время своя национальная социально-экономическая модель развития, которая не только показала свою привлекательность и доказала целесообразность, но и имеет целую систему критериев и показателей для того, чтобы подтвердить свою жизнеспособность. Эта модель, по сути, и является Белорусской экономической школой, которая включает в себя как органы госуправления, так и субъекты хозяйствования разных форм, а также всю совокупность экономических отношений, возникающих в рамках производства, распределения, сбыта и потребления материальных благ. И, конечно, свою отечественную науку, которая призвана обеспечить научное сопровождение организации и функционирования модели (выработка теории и методологии, анализ функционирования с выявлением преимуществ, а также анализ возможных недостатков и противоречий, позиционирование результатов и пр.). В этой связи следует подчеркнуть, что наука является особым структурным звеном школы, так называемым ее мозговым центром. Именно ученые-экономисты призваны выполнить комплексное обоснование социально-экономической модели (механизмы, методы, средства и пр.) и сформулировать цели, задачи, функции, особенности и поле деятельности самой школы.

Исследование подтверждает, что Республика Беларусь имеет полное право на формирование и позиционирование своей национальной белорусской экономической школы, поскольку она отвечает всем необходимым требованиям и условиям, которые могут характеризовать ее не только с позиции внутренних критериев и показателей (стимулов, мотивов, интересов и т.п.), но и исходя из международной аргументации. В этой связи следует привести некоторые важнейшие целевые установки Белорусской экономической школы, проверенные временем и доказавшие свою адекватность. Среди них:

- *сильный государственный патернализм национальной экономики, который можно пред-*

ставить в виде государственно-хозяйственного партнерства (иногда его называют государственно-частным) органов государственного управления всех уровней, включая финансово-кредитные структуры – с одной стороны, и предприятия и организации, а также иные субъекты хозяйственного права, создающие в целом производственно-сбытовой комплекс (включая социальную сферу) страны – с другой;

- *ставка на реальный сектор экономики, создающий совокупность материальных и потребительских благ с учетом развивающегося спроса и предложения (именно это позволяет избежать перекоса в сторону сферы услуг, поддерживать баланс между производственной и обслуживающей системами и исключить появление виртуальных структур с их «мыльными пузырями»);*
- *акцент на крупнотоварный сектор (крупные предприятия и объединения, особенно в промышленности и сельском хозяйстве), который призван обеспечить достаточную устойчивость экономики, производственно-сбыточную стабильность (прежде всего материальных благ), надежное противостояние конъюнктуре рынка с его рисками и угрозами, крупные обороты материальных и финансовых ресурсов, в том числе крупные поступления денежных средств от продаж качественной готовой продукции и их инвестиции в развитие и инновации. В то же время акцент на крупнотоварное производство не препятствует нормальному развитию всех других форм – малых и средних предприятий и организаций. В стране существует даже своего рода приоритет малого и среднего сектора экономики, а также малого и среднего предпринимательства, которые также находятся под патронажем и защитой государства. Однако, несмотря на гибкость и динамичность малого и среднего предпринимательства, именно крупнотоварные предприятия, организации и объединения позволяют поддерживать стабильность товарного производства и снабжения, а следовательно, и доходов от реализации, в то время как малый и средний бизнес, как известно, в сильной мере подвержен конъюнктуре рынка;*
- *концентрация ресурсов на обеспечении технико-технологической самодостаточности производства. Это означает, что в стране делается все возможное для создания, совершенство-*

вания и развития собственных инновационных, конкурентоспособных и эффективных технологий в различных сферах хозяйствования (особенно в сфере производящих отраслей и предприятий). Именно такая стратегия позволяет не только активно продвигать собственную наукоемкую продукцию с высокой добавленной стоимостью на зарубежные рынки, но и поддерживать технико-технологическую независимость от внешних поставок. Данная политика стала возможной во многом благодаря сохранению и высокому уровню развития национальной науки в разных сферах – медицины, промышленности, сельского хозяйства и др. Именно наука стала драйвером и генератором высоких, наукоемких и прорывных технологий по разным направлениям – от космоса, микроэлектроники и умных систем до биотехнологий и сельского хозяйства. В частности, приоритетную роль в комплексном научном обеспечении экономики выполняет Национальная академия наук Беларуси, которая по совокупности научных разработок, масштабы их внедрения, научности и инновационности результатов, по всеобщему признанию, является одним из ведущих научных центров, приобрела форму крупной научно-производственной корпорации и имеет широчайшие научные связи;

- *курс на национальную безопасность в разных сферах – машиностроительной, медицинской, биотехнологической, гуманитарной, аграрной и др. Особо крупного успеха Беларусь достигла в обеспечении продовольственной безопасности, в течение сравнительно непродолжительного времени превратившись из продуктодефицитной в продуктоизбыточную страну с большим экспортным потенциалом. А по большому счету, курс на национальную безопасность и независимость позволил вывести белорусскую экономику в число наиболее динамично развивающихся, в результате чего она прочно интегрировалась в международное разделение труда по ряду направлений и приобрела широчайшее партнерство;*
- *программно-целевой метод организации и развития экономики, который приобрел характер неопределенности и всеобщности. Так, в стране действует ряд программ и прогнозов*

долгосрочного (стратегического) и краткосрочного (текущего) характера. Особую важность представляют ГПИР (Государственная программа инновационного развития), КП НТП (Комплексный прогноз научно-технического прогресса), прогноз и программа жилищного строительства, Государственная программа развития аграрного бизнеса, Программа развития отраслей и предприятий промышленности, Концепция национальной безопасности, Доктрина продовольственной безопасности, а также ряд региональных (областных и территориальных) программ фундаментальных и прикладных исследований и др. В настоящее время действует около 20 основных государственных общесистемных и целевых программ развития различных сфер и отраслей хозяйствования, большинство из которых признаются социально ориентированными. Безусловно, на основе стратегий, концепций и программ государственного характера составляются долгосрочные и текущие программы и планы развития предприятий и организаций. Таким образом, вся экономика страны основывается на системе программ, от чего является предсказуемой, последовательной и нарастающей, со строгим соблюдением балансового метода и метода пропорциональности между имеющимися и вовлекаемыми в оборот материальными, финансовыми и инвестиционными ресурсами и планируемыми объемами выхода и продаж годовой качественной продукции под потребительской спрос и интересы как субъектов хозяйствования, так и государства;

- *реализация масштабной Программы социально-экономического и социального развития Республики Беларусь.* Эта программа настолько широкая, многоцелевая и всеохватывающая, что просто невозможно представить современное белорусское общество и конкретных его граждан вне ее контекста. Надо понимать, что это не какой-то отдельный документ, а совокупность более адресных программ и проектов, что позволяет охватить социально-экономическими и социальными благами не только все общество, но и категории и группы граждан, дойдя конкретно до каждого человека. Это, безусловно, и медицина, и образование, и социальное обслуживание, и экология, и территории (регионы), и торговля, и кадры, и наука, и многое другое. Или, по боль-

шому счету, все, в чем нуждается человек от рождения и на протяжении всей жизни. По своей инфраструктуре и емкости названная социально-экономическая и социальная сфера вполне сопоставима с производственной. И надо подчеркнуть, что обе эти сферы находятся в прямом взаимодействии: производственная определяет материальную базу для социальной, а социальная обеспечивает мотивацию и стабильность производственной.

Говоря об особенностях и преимуществах Республики Беларусь в разных областях, можно привести еще ряд важнейших характеристик как белорусской социально-экономической модели, так и Белорусской экономической школы. Так, в их числе и сплошная экспортная ориентация всей производственной инфраструктуры (а отчасти и сферы услуг), и целевая деятельность по повышению качества белорусской продукции (известен бренд: белорусское – это качественное; действует пятилетка качества), и крупнотоварное агропромышленное производство, и высокая культура быта и окружающей среды, и сохранение исторической памяти и преемственности традиций, и забота о материнстве и детстве, и пр.

Таким образом, белорусская социально-экономическая модель отличается немалым рядом преимуществ, более чем достаточным для того, чтобы активно позиционировать и пропагандировать свою эксклюзивность и эффективность, а образованная в ее контексте Белорусская экономическая школа – целой совокупностью убедительных критериев, чтобы доказать свою состоятельность, целесообразность и неопровержимость как научная структура для всестороннего обоснования и широкого представления результативности белорусской экономики. Белорусское общество убеждено, что сформированная в стране социально-экономическая модель отвечает как интересам всех социальных слоев народа в целом, так и каждого его гражданина в отдельности и обладает многими убедительными достоинствами и преимуществами по сравнению с другими известными в мире моделями и экономическими школами, и в первую очередь – по сравнению с моделью либеральной рыночной экономики, отражающей интересы исключительно бизнеса и предпринимательства. Кстати, данная либеральная модель все больше критикуется и отвергается в мире. Поэтому даже в странах-апологетах с приоритетами свободных рыночных отношений экономика все больше начинает регулироваться государством, и именно это позволяет сглаживать постоянные потрясения и противоречия. ■

Алексей Шляхтун,
старший научный сотрудник отдела
витаминологии и нутрицевтики
Института биохимии биологически
активных соединений НАН Беларуси;
shlyahatun@ibiochemistry.by

Диана Станиславчик,
инженер-технолог
ОАО «Молочный Мир»;
vev-diana@ya.ru

Галина Хованская,
врач-реабилитолог высшей категории
Гродненской университетской клиники,
кандидат медицинских наук, доцент;
galinahov@yandex.ru

Вячеслав Полубок,
научный сотрудник отдела
доклинического и экспериментального
исследования Института биохимии
биологически активных соединений
НАН Беларуси;
slavapolubok@mail.ru

Дмитрий Пицко,
доцент кафедры ОВП и
поликлинической терапии Гродненского
государственного медицинского
университета, врач-терапевт 1-й
категории городской поликлиники №3
г. Гродно, кандидат медицинских наук;
medmen@mail.ru

Людмила Елисеева,
врач-эндокринолог 1-й категории
городской поликлиники №3
г. Гродно

Елена Радута,
ученый секретарь, старший научный
сотрудник Института биохимии
биологически активных соединений
НАН Беларуси;
e.raduta@ibiochemistry.by

ВЛИЯНИЕ ЙОГУРТА С БЕТУЛИНОМ

*на метаболические показатели
пациентов с сахарным диабетом
2-го типа*

УДК 615.31+616.379-008.64+616.092:613.81:577.29

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния йогурта «DiaVita» с бетулином и пробиотическими культурами на метаболические показатели у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа (СД2). Было показано, что употребление данного продукта добровольцами в течение 2 недель способствовало снижению уровня глюкозы натощак и фруктозамина, нормализации липидного обмена (снижение уровня общего холестерина и повышение холестерина липопротеинов высокой плотности), а также уменьшению концентрации провоспалительного маркера ФНО-α. Полученные данные свидетельствуют о потенциальной пользе йогурта с бетулином в комплексной терапии СД2, однако для подтверждения долгосрочной эффективности продукта необходимы дополнительные исследования.

Ключевые слова: сахарный диабет 2-го типа, пробиотики, бетулин, функциональное питание, гликемический контроль, липидный обмен.

Для цитирования: Шляхтун А., Станиславчик Д., Хованская Г., Полубок В., Пицко Д., Елисеева Л., Радута Е. Влияние йогурта с бетулином на метаболические показатели пациентов с сахарным диабетом 2-го типа // Наука и инновации. 2025. №9. С. 77–83.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-9-77-83>

Согласно данным ВОЗ, за последние 10 лет число страдающих сахарным диабетом увеличилось более чем в 2 раза и превысило 470 млн человек. Из всех зарегистрированных случаев доля СД2 составляет около 94%. В Республике Беларусь также отмечается значимый рост распространенности последнего, на 5–8% в год [1].



Несмотря на единичные примеры полной ремиссии СД2 [2], говорить о возможности абсолютного излечения пациента с таким диагнозом на современном этапе развития медицины преждевременно. Основная цель терапии заключается в поддержании стабильных уровней гликемии в пределах референсных значений, что позволяет предотвратить развитие диабетических осложнений.

Разработанные протоколы лечения СД2 включают в себя модификацию образа жизни, фармакотерапию, самоконтроль (гликемии, массы тела, артериального давления), обучение больных, хирургическое лечение (при морбидном ожирении). В Беларуси, согласно существующей нормативно-правовой базе, пациенты с диабетом за счет средств бюджета обеспечиваются устройствами контроля уровней глюкозы в крови, инсулином и средствами его введения, а также таблетированными гипогликемическими препаратами: чаще всего используются пероральные средства (бигуаниды, производные сульфонилмочевины, глиптины и др.) или их комбинации, реже – инъекционные (агонисты рецепторов ГПП-1) и заместительная инсулинотерапия при неэффективности других вариантов [3].

Существующие препараты характеризуются ограниченной эффективностью и безопасностью из-за множества противопоказаний и побочных действий. В связи с этим поиск новых способов профилактики и лечения пациентов с СД2 – значимая медико-социальная проблема современности [4].

Диетотерапия – наиболее важный компонент в комплексной терапии таких больных для нормализации углеводного и липидного обмена [5]. Считается, что до 80% случаев диабета

2-го типа можно предотвратить путем изменения образа жизни и рационального питания [6]. Так, в одном из систематических обзоров указывается, что соблюдение пациентами специализированной диеты в течение 3–6 мес. может снизить уровень гликированного гемоглобина (HbA1c) на 2,0% (при СД2) и на 1,9 % (при СД1), что сопоставимо с медикаментозным лечением [7].

Учитывая это, создаются продукты для функционального питания (профилактического и диетического) данной категории граждан, и одна новых разработок в этой сфере – йогурт с бетулином и пробиотическими культурами в составе.

Известно, что в качестве компонентов диеты у пациентов с СД2 могут использоваться пре- и пробиотики, а также биологически активные добавки, обладающие гиполлипидемическим и гипогликемическим действием [8]. В большинстве клинических рекомендаций кисломолочные продукты упоминаются в связи со способностью улучшать гликемический контроль [9] и снижать риски развития диабетических осложнений [10, 11]. Основным механизмом протекторного действия таких продуктов считается восстановление нормального состава кишечного микробиома, дисбаланс которого ассоциируется с развитием данного заболевания [12].

Недавний метаанализ 42 рандомизированных клинических исследований показал, что увеличение употребления кисломолочных продуктов на 50 г/сут снижает риск возникновения СД2 на 7% [13]. Показано также синергическое действие приема кисломолочных продуктов на фоне традиционной медикаментозной терапии. Например,

в одной из работ продемонстрировано, что ежедневное присутствие в рационе 250 мл кефира на протяжении 3 мес. снижает уровень HbA1c с $8,54 \pm 1,56\%$ до $7,20 \pm 1,12\%$, по сравнению с контрольной группой, получавшей только метформин [14].

Включение тритерпеноида бетулина (луп-20(29)-ен-3 β , 28-диол) в рецептуру йогурта обусловлено доклиническими экспериментальными данными, указывающими на его гипогликемическое и панкреопротекторное действие при экспериментальном сахарном диабете 1-го и 2-го типов [15, 16]. Кроме того, применение бетулина в качестве пищевой добавки разрешено едиными санитарными нормами Таможенного союза ЕАЭС [17].

Цель представленной работы заключалась в оценке влияния разработанного продукта – йогурта с бетулином, содержащего пробиотические культуры, на отдельные показатели углеводного и липидного обмена, а также маркеры системного воспаления в сыворотке крови у добровольцев с диагностированным СД2 после его ежедневного употребления на протяжении 14 дней в рекомендованной дозировке.

Материалы и методы

В исследовании использовали йогурт «DiaVita» (йогурт) с экстрактом бересты «Бетулин» и наполнителем «Ананас-облепиха-амарант», разработанный совместно с ОАО «Молочный мир» (рис. 1).

Йогурт изготавливается из коровьего молока путем сквашивания закваской из лиофилизированных культур *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*



Рис. 1. Упаковка йогурта «DiaVita» с экстрактом бересты «Бетулин» и наполнителем «Ананас-облепиха-амарант»

(ТУ BY 500040357.073-2021). Количество пробиотических молочнокислых организмов на протяжении всего срока годности продукта составляет не менее 1×10^7 КОЕ/г. В составе отсутствует сахароза, а также искусственные красители и ароматизаторы. Содержание бетулина в одной порции (упаковка 280 г) составляет 40 мг, что соответствует адекватному уровню потребления [17]. В производстве используется экстракт бересты с содержанием бетулина не менее 98,5% (декларация ЕАЭС N RU Д-RU. PA01.B.39103/20 о соответствии ТР ТС 029/2012 и ТР ТС 022/2011).

Для оценки влияния приема йогурта на показатели углеводного и липидного обмена, а также маркеры системного воспаления у пациентов с СД2 был разработан протокол и дизайн одноцентрового интервенционного контролируемого исследования, которое проводилось Институтом биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси на базе Гродненской поликлиники №3.

Был осуществлен набор добровольцев, все они дали письменное согласие на участие и обработку персональных данных. Критерием включения было полное соответствие предъявляемым требованиям (мужчины и женщины в возрасте от 30 до 65 лет, практически здоровые и с диагностированным СД2, без наличия клинически значимых хронических

или острых заболеваний сердечно-сосудистой, нервной и других систем и органов). Критериями выбывания – нежелание добровольцев продолжать участие и индивидуальная непереносимость разработанного продукта.

В исследование были отобраны 59 человек, из них 18 практически здоровых составили контрольную группу (группа №1); лица с клинически диагностированным СД2 – 41 человек – были разделены на 2 группы способом простого случайного отбора: группа №2 (20 человек) и №3 (21 человек).

Все участники прошли анкетирование (анамнез заболевания), лабораторные (биохимический анализ крови) и антропометрические измерения (масса тела, рост, вес, объем талии (ОТ), объем бедер (ОБ)), на основе которых был проведен расчет индекса массы тела (ИМТ) и индекса ОТ/ОБ.

Представители групп №1 и №3 ежедневно принимали йогурт в рекомендованной дозировке (по 280 г два раза в сутки – утром в 8:00 и вечером в 18:00) на протяжении 14 дней, а группа №2 находилась на своем обычном рационе питания. При этом пациенты с СД2 продолжали использование гипогликемических препаратов, назначенных врачом-эндокринологом (табл. 1), и всем им было рекомендовано придерживаться лечебной диеты №9.

Забор образцов венозной крови для биохимических исследований выполнялся дважды: в 1-й и на 14-й день. В образцах плазмы определяли содержание глюкозы, фруктозамина, общего белка, альбумина, креатинина, триацилглицеролов (ТАГ), общего холестерина (ОХ), холестерина липопротеинов высокой плотности (ХЛВП), а также активности аспартат- и аланинаминотранс-

феразы (АсАТ и АлАТ). Для этого использовались клинико-диагностические наборы реагентов («НТПК АнализХ», Беларусь). Уровни фактора некроза опухолей α (ФНО- α) в плазме крови определены с помощью набора реагентов для иммуноферментного анализа (№ кат. А-8756, АО «Вектор-Бест», Российская Федерация). Измерения указанных показателей проведены в соответствии с инструкциями производителей.

Статистическую обработку результатов осуществляли с применением программного обеспечения Prism v.8.0 (GraphPad, США). Нормальность распределения выборки оценивали по критерию Шапиро – Уилка. Для выявления статистической значимости отличий по показателям, измеренным в динамике эксперимента в пределах одной группы добровольцев, использовали двухвыборочный парный *t*-критерий Стьюдента в случае нормального распределения данных и равенства дисперсий выборок либо, в случае распределения данных отличного от нормального, критерий Вилкоксона для связанных выборок. Для выявления значимости отличий между группами применяли однофакторный дисперсионный анализ и *post-hoc* тест Тьюки в случае нормального распределения данных и равенства дисперсий выборок, в противном случае – тест Краскела – Уоллиса с последующим тестом Данна для множественных сравнений. Различия между группами считали статистически значимыми, если вероятность ошибочной оценки не превышала 5% ($p < 0,05$).

Данные в таблицах и на графиках представлены в виде $M \pm t$, где M – среднее арифметическое значение показателя в группе, t – стандартная ошибка среднего значения.

Результаты и обсуждение

Характеристика основных антропометрических параметров участников исследования приведена в *табл. 1*.

Группа №1 состояла из 18 человек, средний возраст $46,8 \pm 2,8$ года. В нее вошли практически здоровые люди с отсутствием СД2, ИМТ – $26,6 \pm 0,9$ (избыточная масса тела), ОТ/ОБ – $0,85 \pm 0,02$.

В группу №2 случайным образом распределены 20 человек с диагностированным СД2, средний возраст составил $52,8 \pm 1,4$ года, длительность заболевания диабетом – $8,1 \pm 1,6$ года, ИМТ – $33,4 \pm 1,2$ (ожирение 1-й степени), ОТ/ОБ – $0,91 \pm 0,01$. Средний уровень глюкозы крови (по самоотчетам) – $7,4 \pm 0,3$ ммоль/л.

В группу №3 случайным образом распределен 21 человек, мужчины и женщины, с диагностированным СД2. Средний возраст составил $59,1 \pm 1,3$ года, длительность заболевания диабетом – $9,4 \pm 1,4$ года, ИМТ – $31,6 \pm 1,0$ (ожирение 1-й степени), ОТ/ОБ – $0,89 \pm 0,02$. Средний уровень глюкозы крови (по самоотчетам) – $7,2 \pm 0,3$ ммоль/л.

В *табл. 2* представлены значения биохимических показателей

Показатель	Добровольцы		
	Группа №1 (практически здоровые)	Группа №2 (СД2)	Группа №3 (СД2+йогурт)
Общее количество испытуемых, человек	18	20	21
из них:			
мужчин	3	2	3
женщин	5	18	8
Возраст, годы	$46,8 \pm 2,8$	$52,8 \pm 1,4$	$59,1 \pm 1,3$
ИМТ, кг/м ²	$26,6 \pm 0,9$	$33,4 \pm 1,2$	$31,6 \pm 1,0$
Индекс ОТ/ОБ	$0,85 \pm 0,02$	$0,91 \pm 0,01$	$0,91 \pm 0,01$
Гликемия, ммоль/л	$4,8 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,3$	$7,4 \pm 0,3$
Продолжительность СД2, лет	–	$8,1 \pm 1,6$	$9,4 \pm 1,4$
Терапия СД	–	Комбинированная терапия СД2	Комбинированная терапия СД2
Диетотерапия	–	лечебная диета №9	лечебная диета №9

Таблица 1. Клинико-лабораторная характеристика добровольцев, включенных в исследование

Показатель	Добровольцы (до распределения группы)		р-значение
	Практически здоровые (n=18)	Добровольцы с СД2 (n=41)	
Глюкоза, ммоль/л	$4,88 \pm 0,11$	$7,48 \pm 0,26^{***}$	$<0,0001$
Фруктозамин, мкмоль/л	$268,0 \pm 5,49$	$297,0 \pm 5,55^{**}$	0,0018
ОХ, ммоль/л	$5,11 \pm 0,12$	$5,43 \pm 0,11$	0,0835
ХЛВП, ммоль/л	$0,80 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,02$	0,9490
ТАГ, ммоль/л	$1,33 \pm 0,08$	$1,72 \pm 0,09^{**}$	0,0080
ФНО-α, пг/мл	$3,77 \pm 0,38$	$5,60 \pm 0,35^{**}$	0,0052

Таблица 2. Значения биохимических показателей плазмы крови добровольцев в начале исследования. Примечания: ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,0001$ (двухвыборочный непарный t-критерий Стьюдента)

Показатель	Группы добровольцев					
	Группа №1 (практически здоровые)		Группа №2 (СД2)		Группа №3 (СД2+йогурт)	
	исходный	через 14 сут	исходный	через 14 сут	исходный	через 14 сут
Общий белок, г/л	$89,64 \pm 0,87$	$88,14 \pm 1,12$	$89,58 \pm 0,92$	$87,56 \pm 1,02$	$89,57 \pm 0,94$	$90,23 \pm 1,54$
Альбумин, г/л	$47,76 \pm 0,66$	$47,1 \pm 0,68$	$47,91 \pm 0,68$	$46,89 \pm 0,68$	$46,92 \pm 0,44$	$46,44 \pm 0,79$
АсАТ, ед/л	$35,47 \pm 0,46$	$34,97 \pm 0,23$	$35,45 \pm 0,49$	$34,95 \pm 0,24$	$34,61 \pm 0,45$	$35,79 \pm 0,62$
АлАТ, ед/л	$38,11 \pm 0,46$	$37,02 \pm 0,30$	$37,93 \pm 0,45$	$36,97 \pm 0,31$	$40,29 \pm 0,64$	$40,10 \pm 0,71$
Билирубин общ., мкмоль/л	$8,94 \pm 0,38$	$8,62 \pm 0,28$	$8,78 \pm 0,36$	$9,03 \pm 0,32$	$9,56 \pm 0,38$	$9,44 \pm 0,49$
Мочевина, ммоль/л	$6,71 \pm 0,43$	$6,24 \pm 0,41$	$7,34 \pm 0,47$	$6,96 \pm 0,68$	$7,17 \pm 0,56$	$7,20 \pm 0,30$

Таблица 3. Некоторые биохимические показатели плазмы крови добровольцев в начале исследования и после двухнедельного приема в пищу йогурта

в плазме добровольцев до начала приема йогурта и отнесения к какой-либо экспериментальной группе. У лиц с СД2 уровни глюкозы, фруктозамина, ТАГ и ФНО-α были ожидаемо выше, чем у практически здоровых участников. Исходные уровни ОХ между группами почти не отличались и составили у здоровых лиц – $5,11 \pm 0,12$ ммоль/л, с наличием СД2 – $5,43 \pm 0,11$ ммоль/л, при этом у последних уровни ОХ были незначительно выше референсных значений ($< 5,2$ ммоль/л). Содержание в плазме крови ХЛВП было ниже нормальных значений у всех участников исследования. Уровни ТАГ у добровольцев с диабетом были выше на 30%, чем в группе практически здоровых (табл. 2).

Для оценки влияния йогурта на показатели, характеризующие общее состояние здоровья испытуемых, в плазме крови были определены концентрации общего белка и альбумина, активности АлАТ и АсАТ, уровни мочевины и общего билирубина. Изменений этих показателей не выявлено, они оставались в пределах референтных значений (табл. 3).

Интересные результаты были получены при анализе показателей, отражающих состояние углеводного и липидного обмена.

Выявлено, что уровни глюкозы натощак в плазме крови у практически здоровых участников, принимавших йогурт на протяжении 14 сут, снизились на 7,6% – с $4,88 \pm 0,11$ до $4,51 \pm 0,16$ ммоль/л (рис. 2А). Аналогичные изменения наблюдались у добровольцев с СД2 после использования в пищу йогурта – уровни глюкозы в крови стали ниже на 7,8% по сравнению с исходным ($8,03 \pm 0,35$ ммоль/л) и составили $7,40 \pm 0,27$ ммоль/л ($p < 0,05$). У лиц с СД2, не принимавших йогурт, через 2 недели

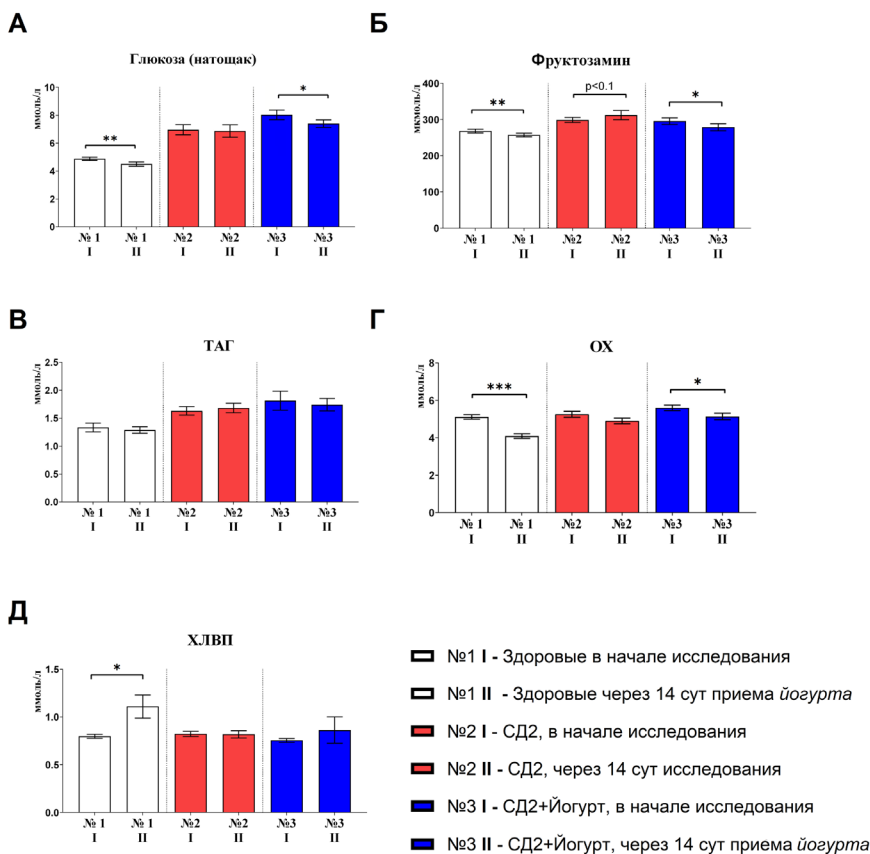


Рис. 2. Отдельные значения показателей углеводного и липидного обмена в плазме крови у добровольцев в начале и в конце исследования

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ по сравнению с исходным значением показателя (критерий Вилкоксона для связанных выборок)

после начала исследования данный показатель в плазме крови практически не изменялся ($6,96 \pm 0,36$ и $6,87 \pm 0,45$ ммоль/л соответственно в начале и конце исследования ($p = 0,6856$)).

Установлено, что после двухнедельного приема йогурта в пищу у практически здоровых добровольцев уровни фруктозамина в крови снижались на 4,1%, с $268,01 \pm 5,50$ до $256,97 \pm 4,98$ мкмоль/л ($p = 0,0019$). Сходные изменения наблюдались и у участников с СД2 – происходило снижение уровней фруктозамина с $295,4 \pm 9,0$ до $278,8 \pm 9,7$ мкмоль/л ($p = 0,0396$). У лиц с СД2, не получавших йогурт, напротив, уровни фруктозамина были незначительно выше, чем в начале иссле-

дования (увеличение с $298,5 \pm 6,8$ до $312,2 \pm 12,7$ мкмоль/л, $p = 0,0577$) (рис. 2Б).

Уровень фруктозамина является более точным показателем гликемического контроля, так как он не зависит от случайных факторов, в отличие от определения глюкозы натощак, и отражает колебания уровней глюкозы за последние 2–3 недели.

В целом полученные данные свидетельствуют, что регулярное употребление йогурта улучшало гликемический контроль как у практически здоровых добровольцев, так и у добровольцев с СД2.

Уровни ТАГ в плазме крови у участников значимо не изменялись в ходе эксперимента (рис. 2В).

После 2 недель приема в пищу йогурта в группе практически здоровых людей наблюдалось выраженное снижение содержания ОХ в плазме крови – на 19,8% от исходного показателя, с $5,11 \pm 0,12$ до $4,10 \pm 0,12$ ммоль/л ($p < 0,0001$). У добровольцев с СД2 прием йогурта приводил к снижению уровней ОХ в плазме на 8% по сравнению с исходным: с $5,61 \pm 0,14$ до $5,14 \pm 0,18$ ммоль/л ($p = 0,0336$). У лиц, не принимавших йогурт, значимых изменений показателя ОХ не происходило (рис. 2Г).

После ежедневного употребления йогурта на протяжении 2 недель у группы практически здоровых людей наблюдалось увеличение уровня ХЛВП в плазме крови по сравнению с исходным на 37,5%, с $0,80 \pm 0,02$ до $1,10 \pm 0,12$ ммоль/л ($p = 0,0224$). Аналогичные изменения наблюдались у группы с СД2 – уровни ХЛВП в плазме крови возрастали на 22,9% по сравнению с исходным: с $0,77 \pm 0,02$ до $0,86 \pm 0,14$ ммоль/л. У добровольцев с СД2, не получавших йогурт, содержание ХЛВП в плазме крови не изменялось (рис. 2Д).

Таким образом, ежедневное употребление йогурта в течение 2 недель приводило к позитивным изменениям в липидном профиле крови. У практически здоровых участников наблюдалось значительное снижение уровней ОХ и увеличение ХЛВП. У пациентов с СД2 эффект также был заметен, хотя и менее выражен (рис. 2). При этом у не принимавших йогурт не было зафиксировано значимых изменений в липидном профиле, что подтверждает положительное влияние данного продукта на метаболизм липидов.

Поскольку системное воспаление связано с развитием и прогрессированием инсулинорези-

стентности и СД2, была проведена оценка влияния курсового приема йогурта на уровень в плазме крови добровольцев важнейшего провоспалительного цитокина – ФНО- α .

Установлено, что у лиц с СД2 (группы №2 и №3) концентрация ФНО- α в плазме крови была выше на 48%, чем в группе практически здоровых (табл. 2).

У добровольцев с СД2 после курсового употребления йогурта наблюдалось снижение концентрации ФНО- α в плазме крови на 22,3% по сравнению с исходным уровнем ($p = 0,0209$). Аналогичной направленности, но чуть менее выраженные изменения отмечались у здоровых участников через 2 недели после добавления йогурта в рацион – концентрация ФНО- α снижалась на 13,6% по сравнению с исходными значениями ($p = 0,0151$). У добровольцев с СД2, не употреблявших йогурт, значимых изменений уровня ФНО- α не происходило (табл. 4).

Результаты исследования демонстрируют, что употребление йогурта добровольцами, особенно лицами с СД2, сопровождается снижением концентрации ФНО- α в плазме крови, являющегося маркером системного воспаления.

Наблюдаемый эффект может быть обусловлен антиоксидантными свойствами бетулина и снижением окислительного стресса [15, 16], его способностью модулировать сигнальные пути

воспаления, в частности ингибировать активацию NF- κ B [18, 19]. Кроме того, пробиотические микроорганизмы йогурта, нормализуя состав кишечной микробиоты, способны снижать уровень липополисахарид-индуцированного системного воспаления [20]. По всей вероятности, комбинированное действие бетулина и пробиотических компонентов йогурта определяет его способность оказывать системное противовоспалительное действие.

Учитывая, что гиперпродукция ФНО- α играет центральную роль в патогенезе ряда заболеваний, можно предположить, что данный функциональный продукт может быть полезен в комплексной терапии патологий, сопряженных с системным воспалением. Для детальной оценки его противовоспалительного действия и эффективности необходимо проведение дополнительных исследований в контексте других нозологических форм.

Заключение

Двухнедельное употребление йогурта с бетулином способствовало снижению уровня глюкозы натощак и фруктозамина в плазме крови, что свидетельствует об улучшении гликемического контроля как у практически здоровых добровольцев, так и у пациентов с СД2.

Группа добровольцев	ФНО- α исходный	ФНО- α через 14 сут ежедневного приема йогурта	p-значение
№1 (практически здоровые)	$3,77 \pm 0,38$	$3,17 \pm 0,31^*$	0,0417
№2 (СД2)	$4,80 \pm 0,42$	$5,14 \pm 0,29$	0,0814
№3 (СД2+йогурт)	$6,30 \pm 0,41$	$4,89 \pm 0,29^*$	0,0391

Таблица 4. Уровни ФНО- α в плазме крови добровольцев до и после курсового приема йогурта

Примечание: * – $p < 0,05$ по сравнению с исходным уровнем ФНО- α (критерий Вилкоксона для связанных выборок)

У лиц, принимавших йогурт, наблюдалось значимое снижение уровня общего холестерина и повышение содержания холестерина липопротеинов высокой плотности, что указывает на положительное влияние данного продукта на липидный обмен.

Прием йогурта способствовал снижению концентрации фактора некроза опухолей α в плазме крови, что может свидетельствовать о его потенциале в снижении системного воспаления у пациентов с СД2.

В группе добровольцев, не употреблявших йогурт, существенных изменений в показателях гликемии, липидного обмена и воспалительных маркеров не наблюдалось, что подчеркивает эффективность функционального продукта.

Полученные результаты подтверждают возможность использования йогурта с бетулином в качестве вспомогательного компонента в комплексной терапии СД2. Продукт показал потенциал в снижении уровня глюкозы, улучшении липидного профиля и снижении воспаления. Для окончательной оценки его долгосрочной эффективности необходимы дополнительные клинические исследования с расширенной выборкой и увеличенной продолжительностью наблюдения.

Исследования проведены в рамках договора №09-08/21/01 от 09.08.2021 на выполнение научно-исследовательской работы «Исследовать лечебно-профилактическое действие молочного продукта (йогурт, напиток кисломолочный, продукт кисломолочный и прочие), содержащего бетулин» (№ГР 20213656).

Статья поступила в редакцию
07.04.2025 г.

■ **Summary.** The current paper presents the results of a study examining the impact of the yogurt «DiaVita» enriched with betulin and probiotics, on metabolic parameters in patients with type 2 diabetes mellitus. The interventional study demonstrated that a two-week consumption of this product contributed to reductions in fasting blood glucose and fructosamine levels, normalization of lipid metabolism (decreased total cholesterol and increased high-density lipoprotein cholesterol), and a decrease in the concentration of the pro-inflammatory marker TNF- α . These results highlight the potential therapeutic benefits of yogurt with betulin as part of the comprehensive treatment of type 2 diabetes mellitus. Nevertheless, further research is required to confirm its long-term efficacy.

■ **Keywords:** type 2 diabetes mellitus, probiotics, betulin, functional nutrition, glycemic control, lipid metabolism.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-09-77-83>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Barriers to prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus among outpatients in Belarus / A. Sachkouskaya [et al.] // Front. Clin. Diabetes Healthc. 2022. Vol. 2. Art. 797857. <https://doi.org/10.3389/fcdhc.2021.797857>.
2. Role of diet in type 2 diabetes incidence: umbrella review of meta-analyses of prospective observational studies / M. Neuenschwander [et al.] // BMJ. 2019. Vol. 366. Art. I2368. <https://doi.org/10.1136/bmj.I2368>.
3. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом / И.И. Дедов [и др.] // Сахарный диабет. 2019. Т. 22(151). С. 1–144. <https://doi.org/10.14341/DM22151>.
4. Corathers S.D. Complications of diabetes therapy / S.D. Corathers, S. Peavie, M. Salehi // Endocrinol. Metab. Clin. North Am. 2013. Vol. 42, №4. P. 947–970. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2013.06.005>.
5. Dietary interventions to treat type 2 diabetes in adults with a goal of remission: an expert consensus statement from the American College of Lifestyle Medicine / R.M. Rosenfeld [et al.] // Am. J. Lifestyle Med. 2022. Vol. 16, №3. P. 342–362. <https://doi.org/10.1177/15598276221087624>.
6. Combination of multiple low-risk lifestyle behaviors and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies / T.A. Khan [et al.] // Diabetes Care. 2023. Vol. 46, №3. P. 643–656. <https://doi.org/10.2337/dc22-1024>.
7. Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: a consensus report / A.B. Evert [et al.] // Diabetes Care. 2019. Vol. 42, №5. P. 731–754. <https://doi.org/10.2337/dci19-0014>.
8. Коррекция диабета и его осложнений / В.У. Буко [и др.] // Наука и инновации. 2011. №5. С. 17–19.
9. Effect of probiotic yogurt consumption on glycemic control and lipid profile in patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial / M. Mirjalili [et al.] // Clin. Nutr. ESPEN. 2023. Vol. 54. P. 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.01.014>.
10. Dietary guidelines meet NOVA: developing a menu for a healthy dietary pattern using ultra-processed foods / J.M. Hess [et al.] // J. Nutr. 2023. Vol. 153, №8. P. 2472–2481. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.06.028>.
11. Potential effects of short- and long-term intake of fermented dairy products on prevention and control of type 2 diabetes mellitus / S.F. Awwad [et al.] // J. Dairy Sci. 2022. Vol. 105, №6. P. 4722–4733. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21484>.
12. Li S.X. Gut microbiome: New perspectives for type 2 diabetes prevention and treatment / S.X. Li, Y. Guo // World J. Clin. Cases. 2023. Vol. 11, №31. P. 7508–7520. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v11.i31.7508>.
13. Consumption of dairy products and the risk of overweight or obesity, hypertension, and type 2 diabetes mellitus: a dose-response meta-analysis and systematic review of cohort studies / Y. Feng [et al.] // Adv. Nutr. 2022. Vol. 13, №6. P. 2165–2179. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac096>.
14. Effect of probiotic fermented milk (kefir) on some blood biochemical parameters among newly diagnosed type 2 diabetic adult males in Gaza governorate / T.A. El-Bashiti [et al.] // Curr. Res. Nutr. Food Sci. 2019. Vol. 7. P. 568–575. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.2.25>.
15. Hypoglycemic effect of betulin in rats with experimental diabetes / A. Zakrzaska [et al.] // Acta Poloniae Pharmaceutica. Drug Research. 2023. Vol. 80, №5. P. 795–804. <https://doi.org/10.32383/appdr/172620>.
16. Protective effects of triterpenoid betulin on type 2 diabetes mellitus in rats / A. H. Shlyahatun [et al.] // Biochemistry and Molecular Biology. 2024. Vol. 3, №1(4). P. 220–229.
17. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Раздел 1. Требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: утв. Комиссией Таможенного союза 28.05.2010: введ. 01.07.2010. С. 397 // https://eaeunion.org/upload/files/depsanmer/P2_299/раздел%201%20ECT.pdf
18. Pharmacological potential of betulin as a multitarget compound / F.O. Adepoju [et al.] // Biomolecules. 2023. Vol. 13. Art. 1105. <https://doi.org/10.3390/biom13071105>.
19. Shlyahatun A.H. Impact of betulin on immune system parameters in rats with metabolic dysfunction-associated fatty liver disease and type 2 diabetes / A.H. Shlyahatun, V.Ch. Polubok, V.L. Maroz // Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2024. №4 (110). С. 105–115.
20. Zamora-Pineda J. Probiotic molecules that inhibit inflammatory diseases / J. Zamora-Pineda, O. Kalinina, B.A. Osborne, K.L. Knight // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, №3. Art. 1147. <https://doi.org/10.3390/app12031147>.

Oleg Baranov, Zhanna Anisova

Biological foundations of sustainable and productive agroecosystems 4

The article considers the term «agroecology» and its constituent technologies, methods and techniques necessary for obtaining high-quality agricultural products. They are designed to assess anthropogenic factors that have a technogenic impact on the ecosystem, including the use of chemical and biological fertilizers and plant protection products, soil reclamation, forage harvesting, grazing, etc.

Zhanna Kalatskaya, Ninel Elovskaya, Marina Mandrik-Litvinkovich, Ksenia Gilevskaya, Igor Ovchinnikov, Ekaterina Rybinskaya

Innovations in agroecology: how Belarus is adapting to modern challenges 8

The authors presented one of the most effective strategies for preserving and improving soil fertility, involving the technologies for complex environmentally friendly biological products and biofertilisers, including bacteria that stimulate plant growth, and modified natural compounds (polysaccharides or secondary plant metabolites), as well as natural minerals.

Alexander Kilchevsky, Igor Gordey, Valentina Lemesh, Marina Sinyavskaya.

Modern plant breeding: acceleration of obtaining improved varieties 13

The authors gave the innovative approaches to the creation of new varieties and hybrids of economically useful crops, in which traditional methods of hybridization and selection, developed over decades, are supplemented and improved due to the achievements of molecular biology, bioinformatics and genome editing.

Liudmila Kabashnikova

Biogenic immunostimulators are a new generation of crop protection agents 20

The article presents modern strategies for increasing the protective potential of plants against a complex of unfavorable environmental factors, including phytopathogens. There are considered the main mechanisms of priming protective reactions in a pathological process involving natural resistance inducers and the ways of their implementation in plants.

Alexander Shepshelev, Elena Bolotnik, Zinaida Aleshchenkova

Microbial biotechnologies in agricultural production 26

The article considers the ecological, economic and technological advantages of microbial biotechnologies and their use in agricultural sector, as well as presents the most significant developments of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus.

Marina Mandrik-Litvinkovich, Emilia Kolomiets **Innovations in solving the problem of stabilizing the agroecosystems phytosanitary state** 32

An ecologically safe and economically rational strategy is presented as related to the identification and restoration of damaged microbial communities of urban and agricultural soils in order to preserve landscapes and increase crop productivity.

Oksana Urbanovich, Anastasia Shishlova-Sokolovskaya **Genetic editing of the genome using the CRISPR/Cas system** 35

The authors consider the CRISPR-Cas technology, which changes the traditional approach to selection and allows influencing the most important characteristics of plants, including increased photosynthesis, disease resistance, and nutrient use efficiency.

Fedor Privalov, Nikolay Pavlovsky **Diversification potential of bog bilberry in Belarus** 38

The authors gave the expedience of wide introducing bog bilberry into industrial and home gardening practices, which will contribute to the diversification of the industry, increase the production of fresh fruit, and expand its export in demand on the market.

Oleg Sinchuk, Alexander Kolbas, Dmitry Voitka, Irina Feklistova, Nadezhda Arkhipova **Phytosanitary analysis of garden agroecosystems of the Brest region** 43

The authors gave the results of a comprehensive phytosanitary analysis of 4 Brest garden agroecosystems. They determined a complex of natural entomophages that can be considered as biological protection agents, and showed the effectiveness of biological preparations in limiting the spread of diseases and improving the condition of soils.

Irina Atroshko **Natural ecosystems under the protection of science** 50

The most notable scientific achievements in various fields, including methods for determining the qualitative and quantitative indicators of drinking, surface and waste water, soil and ground research, livestock feed, as well as testing the plant protection products and fertilisers are presented in a collection of materials prepared for the 25th anniversary of the Polesky Agricultural and Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus.

Vladimir Gusakov **The nature and characteristic features of the Belarusian economic model and the Belarusian economic school** 72

The author considers the Belarusian socio-economic model and the role of the Belarusian economic school in wide presenting the domestic economy performance.

Alexey Shlyakhtun, Diana Stanislavchik, Galina Khovanskaya, Vyacheslav Polubok, Dmitry Pitsko, Lyudmila Eliseeva, Elena Raduta **The effect of yogurt with betulin on metabolic parameters in patients with type 2 diabetes** 77

The authors give the research results of yogurt «DiaVita» with betulin and probiotic cultures effect on metabolic parameters in patients with type 2 diabetes. It was shown that this product contributed to a decrease in glucose and fructosamine levels, normalization of lipid metabolism and a decrease in the concentration of the proinflammatory marker TNF-α.



Исследуем настоящее – формируем будущее!

- **Институт генетики и цитологии Национальной академии наук**
- **Беларуси – ведущий научный центр по разработке**
- **технологий анализа геномов любых биологических объектов**

НАШИ ДОСТИЖЕНИЯ ОХВАТЫВАЮТ ВАЖНЕЙШИЕ СФЕРЫ:

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И СЕЛЕКЦИЯ

- Разрабатываем технологии маркерно-сопутствующей селекции, повышающие урожайность, качество и устойчивость сельскохозяйственных культур
- Внедряем систему ДНК-паспортизации для сельскохозяйственных животных и идентификации осетровых рыб и продукции из них

СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

- Предлагаем технологии оценки генофонда природных популяций растений и животных, направленные на сохранение редких и исчезающих видов, а также определения видовой принадлежности биологического материала в целях борьбы с браконьерством

МЕДИЦИНА

- Разрабатываем методики выявления генетического риска развития социально значимых заболеваний и занимаемся персонализированным подбором лекарственных препаратов

СПОРТ

- Реализуем программы генетического тестирования, позволяющие учитывать врожденные особенности организма при отборе перспективных спортсменов, индивидуальных тренировочных планов, направленных на снижение риска травматизма

Присоединяйтесь к нам на пути к инновациям!



Минск, 18–20 ноября 2025 г

VI Международная научная конференция
«ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ XXI ВЕКА:
ПРОБЛЕМЫ, ДОСТИЖЕНИЯ,
ПЕРСПЕКТИВЫ»

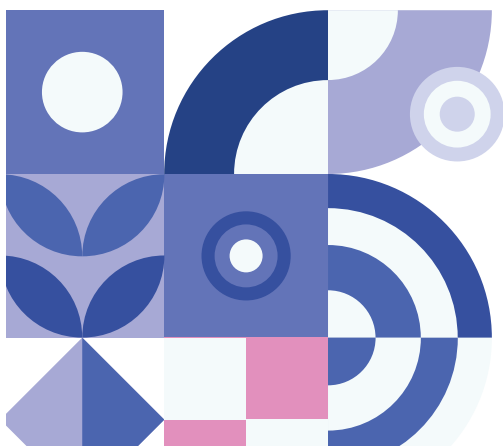


igc.by
genpassport.igc.by



institutgenetiki

УНП 100262387





«ВОСТОЧНЫЙ САД» – новая локация в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси приглашает познакомиться с экспозицией, наполненной растениями «ниваки», архитектурными и декоративными формами. Она знакомит посетителей с культурой и традициями восточного садового искусства, демонстрируя уникальное биологическое разнообразие Дальнего Востока, северных регионов Китая, Японии, Кореи.

Экспозиция «Восточный сад», заложенная в 2022 г., сформирована как пейзажный сад, воспроизводящий фрагменты ландшафтов, характерных для японских островов. Она вписана в существующий ландшафт ботанического сада и максимально приближена к окружающей природной среде.

**Ботанический сад приглашает
минчан и гостей столицы
в «Восточный сад»!**

Билет можно приобрести в кассах центрального входа и в магазине «Цветы» у служебного входа, а также заказать онлайн.

Подробнее здесь:

<https://cbg.org.by/informatsiya/rezhim-raboty.php>



Центральный ботанический сад
НАН Беларуси
г. Минск, ул. Сурганова, 2В,
ст. метро «Академия Наук»

www.cbg.org.by

(+375-17) 2841484

(+375-17) 2926915