

Гольдин Е. Б.

Биологическая защита растений в свете проблем XXI века

Южный филиал Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет», г. Симферополь
e-mail: evgeny_goldin@mail.ru

Аннотация. Проанализировано современное положение биологического метода защиты растений от вредных организмов в мире и в СНГ, сложившееся под влиянием ряда факторов. С учетом имеющегося опыта, включая собственные исследования, предпринята попытка прогноза дальнейшего развития направления. Особое внимание уделено микробным препаратам на основе бактерий, вирусов, грибов, цианобактерий, микроводорослей, простейших и нематод, а также использованию других продуцентов биологически активных веществ, в т.ч. гидробионтов. Рассмотрены различные подходы к решению проблем биологической защиты растений в нынешней ситуации.

Ключевые слова: устойчивое развитие, биологическая защита растений, микробные препараты, бактерии, вирусы, грибы, цианобактерии, микроводоросли, простейшие, нематоды, гидробионты, биологически активные вещества.

Анализ современного положения

События последних десятилетий XX века значительно повлияли на состояние природы и общества, в том числе и на ситуацию в сельском хозяйстве, в т.ч. в области защиты растений. В результате сформировались основные глобальные и региональные факторы экологического, техногенного и геополитического характера, определяющие особенности современного развития биологического направления в защите растений. В первую очередь, это рост населения земного шара, которое достигнет к 2050 г. 9,0 млрд. человек, и необходимость устойчивого развития мирового хозяйства, особенно в продовольственной сфере. Однако, по самым осторожным оценкам, сегодня потери урожая от вредных организмов достигают не менее 35-50%, а выбор путей их предотвращения находится в тесной зависимости от решения экологических проблем (изменение климата, преодоление последствий антропогенной нагрузки на экосистемы, сохранение биологического разнообразия и т.д.). Эти явления происходят на фоне бурного развития экологии, географии, биологии и биотехнологии и растущего интереса к научным открытиям со стороны широких слоев общества [1]. Цель представленной работы заключается в анализе существующего положения в области поиска и разработки биологических препаратов для защиты растений и попытке прогноза развития этого направления в мире на ближайшие годы.

Геополитические процессы. Непосредственное влияние на проблемы защиты растений оказали, в частности, распад ряда государств и блоков. Среди их последствий несогласованность действий новых образований в области защиты и карантина растений: общая децентрализация систем государственных служб, расхождения в законодательстве и регламентах применения средств защиты растений, использование различных наборов пестицидов, производство и экспорт запрещенных препаратов. Произошла ликвидация единой советской системы производства микробиологических средств защиты растений, состоявшей из двух крупнотоннажных предприятий и более 1700 биофабрик, которые выпускали 10 препаратов. Объем внедрения микробных препаратов в СССР неуклонно нарастал: в 1970 г. - 197 тыс. га, в 1976 г. - 2,88 млн. га, а к середине 80-х гг. - 7-8 млн. га. Ныне действует лишь российский Бердский завод биологических препаратов в Новосибирской области, производящий лепидоцид, битоксибациллин и другие микробные препараты, а также около ста биологических лабораторий, биофабрик и коммерческих фирм. Между тем, по данным Инженерно-технологического института "Биотехника" в Одессе, только для Украины необходимо 36-38 тыс. т. микробных препаратов в год. В целом, после распада СССР сфера применения биологических приемов в защите растений сократилась с 22 млн. га (1990 г.) до 1,5 млн. га: в России площадь, обрабатываемая микробными препаратами, резко уменьшилась, а Украина практически полностью зависит от их импорта.

Социально-экономические процессы. Приватизация обусловила дробление крупных земельных массивов и перемещение овощеводства и картофелеводства в частный сектор. Это затрудняет применение интегрированных систем защиты растений и провоцирует распространение медведки, капустной совки, луковой мухи и т.д. [Трибель, 1998]. Более того, из-за неумеренного и бесконтрольного применения химических препаратов, агротехнических нарушений и отсутствия правильного подбора и чередования культур, в частных владениях появились очаги формирования устойчивых рас вредителей. Например, в приусадебных садах Украины «из-за отсутствия профилактических обработок возросли численность и вредоносность долгоносиков, ложнощитовок,

тлей, молей и т.д.» [2]. Новые резерваты вредителей, фитопатогенов и сорняков также быстро формируются на землях, выведенных из сельскохозяйственного производства. С другой стороны, избыточная пестицидная нагрузка привела к снижению роли естественных факторов (хищники, паразиты, патогены) в регулировании численности растительоядных организмов. В результате произошло не только внедрение новых вредителей, но и расширение круга и ареала доминантных и экономически значимых видов за счет организмов, не привлекавших ранее внимания. Среди них отмечены как карантинные объекты, так и вирусносители, например, калифорнийский трипс, табачная белокрылка, многие нематоды, переносящие вирусы томатов, огурцов, картофеля и т.д. [3]. Рост патогенных нагрузок на растения отмечается на протяжении последних лет, при этом формируются фитопатоконплексы, включающие ассоциации вирусов или грибов, переносимые специализированными нематодами-хозяевами [4]. Интенсивное развитие международных экономических связей, широкая интродукция иностранных сортов и массовый ввоз сельскохозяйственной продукции способствуют обострению этих проблем, а высокий уровень вредоносности "вселенцев" стимулирует поиск новых средств защиты растений. Иллюстрацией может служить распространение золотистой картофельной нематоды *Globodera rostochiensis* в областях Украины [2], проникновение западного кукурузного жука *Diabrotica virgifera virgifera* на территорию страны к 2008 г. Многие карантинные вредители встречаются в странах, имеющих с СНГ торговые отношения (бледная нематода, колумбийская галловая корневая нематода, бурая гниль картофеля).

Географические процессы. Изменение гидрометеорологических условий оказывает влияние на зоогеографию и биологию некоторых видов, например американской белой бабочки, создавая возможности для расширения ареала (появление новых очагов в континентальных местообитаниях Центральной Азии и Сибири). Повышение температуры и влажности также способствует вспышкам размножения и развитию в части популяции американской белой бабочки третьего поколения (считавшегося до первой половины 1990 г. факультативным), что может привести к сдвигу в жизненном цикле (переход от бивольтинизма к тривольтинизму) [5]. Вредитель представляет угрозу для плодовых, садово-парковых, городских, лесных и полезащитных насаждений: гусеницы нанесли заметный ущерб городским посадкам в Симферополе (2012 г.) и Севастополе (2009-2012 гг.) [6].

Процесс формирования резистентности у фитофагов. Отрицательные последствия чрезмерного увлечения быстродействующими химическими препаратами в погоне за сиюминутным эффектом (например, в тепличном хозяйстве в 1970-80-х гг.) неизбежно должны привести к поиску альтернативных вариантов. Так, в мире получила развитие тенденция формирования и распространения резистентных рас и популяций вредителей. В 1960 г. насчитывалось 120 резистентных видов членистоногих, в 1964 г. - 140, а к 1969 г. - 330 видов, устойчивых к хлор- и фосфорорганическим пестицидам [7]. В СССР в 1979-1980 гг. этот показатель возрос с 18 до 27 видов. К 2012 г. в мире было зарегистрировано 10357 случаев резистентности 574 видов членистоногих к 338 веществам [8] (в СНГ свыше 50 видов).

Процессы в области законодательства. С другой стороны, повышенное внимание к здоровью человека в сочетании с растущей ролью экологических движений в странах с развитой экономикой отражается в многочисленных законодательных документах. К ним относятся резолюция Генеральной Ассамблеи ООН UIVGA 39/58 (1979 г.), Декларация Рио (1992 г.), Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию (2002 г.) и другие материалы, подчеркивающие приоритет здоровья будущих поколений и определившие отношение к проблемам воздействия пестицидов на экосистемы, включая отдаленное действие на полезные организмы и теплокровных животных. В большинстве развитых стран преобладает комплексный подход к обследованию людей, связанных с защитой растений, с учетом наследственных факторов, условий жизни, оценки санитарно-гигиенической, эпидемиологической и эпизоотологической обстановки и состояния окружающей среды. В последние годы наметилась тенденция к изменению ассортимента средств защиты растений за счет снижения общего числа химических пестицидов - в последние годы запрещены сотни препаратов, многие страны отказались от применения высокотоксичных хлор- и фосфорорганических препаратов.

Процессы в науке и практике. В результате произошедших перемен в мировом сельском хозяйстве в наступившем веке после периода упадка происходит новый всплеск интереса к биологическим методам защиты растений. Этому способствует понимание зависимости устойчивого развития сельского хозяйства от экологически безопасной системы защиты растений, даже появился не совсем удачный термин «экологизация защитных мероприятий». Под ним подразумевается внедрение систем борьбы с вредителями и патогенами растений, включающих препараты природного происхождения - микробные, биологические и на основе биологически активных веществ (БАВ). Создание отечественных биопрепаратов становится привлекательным с экономической точки зрения, а расходы на их производство могут окупиться за счет экспорта экологически чистой продукции. В настоящее время известно около 170 биологических агентов, используемых в защите растений. По данным международных организаций, несмотря на то, что создание и производство одного биопрепарата обходится в 50 млн. \$, с 1984 г. их число ежегодно увеличивается на 4-5%. Ныне

существует более 40 коммерческих биопрепаратов, большинство из них применяется в СНГ. Эксперты прогнозируют, что в перспективе на биопрепараты придется почти половина производства средств защиты растений. Только для регулирования численности колорадского жука применяется 10 бактериальных, грибных и нематодных препаратов, 10 бактериальных и грибных препаратов рекомендованы для борьбы с фитопатогенами. По свидетельству практиков, защита яблони, черной смородины и других культур с помощью микробных препаратов требует таких же затрат, как и использование химических средств, а их применение в садах с низким уровнем разнообразия и численности вредителей обходится на 15-20% дешевле.

Микробиологический метод защиты растений и биопрепараты

В данном случае необходимо внести ясность в вопросы терминологии и четко обозначить круг рассматриваемых средств защиты растений. Под биопрепаратами здесь и далее имеются в виду: (а) препараты, изготовленные на основе живых организмов; (б) препараты, содержащие в своем составе организмы-продуценты и продукты их жизнедеятельности, а также другие добавки; (в) препараты на основе БАВ природного происхождения, обладающие токсическим или селективно-профилактическим действием; (г) аналоги природных соединений, искусственно синтезированные и фактически являющиеся промежуточными между биопрепаратами и химическими пестицидами.

Сегодня в биологической защите растений доминируют микробные препараты. Целенаправленное использование микроорганизмов и их метаболитов в этой области началось лишь в конце XIX века, и тесно связано с патологией, охватывающей все аспекты болезней насекомых. Микробиологический метод защиты растений является прикладным аспектом патологии насекомых, существенно ее дополняющим в теоретическом и практическом плане, и имеет ряд главных направлений в деле создания новых препаратов. В истории развития метода мы условно выделяем четыре этапа: (1) описательный - с древнейших времён до 60-х гг. XIX века; (2) поисково-прикладной - с 60-х гг. XIX века до середины XX века; (3) технологический - с середины XX века до начала 1990-х гг.; (4) молекулярно-биологический - с начала 1990-х гг. XX века до наших дней. Современный этап целесообразно считать комплексным. Наряду с фундаментальными исследованиями молекулярно-биологического и генетического характера, в конце XX столетия были проведены серьезные работы по выявлению новых организмов с высокой биологической активностью и созданию эффективных препаратов и препаративных форм, особенно в борьбе с фитопатогенами. Интересы специалистов в сфере микробиометода направлены на изучение вирусов, бактерий, грибов, цианобактерий, микроводорослей и простейших, агентов регулирования численности вредных насекомых в природе, и создание препаратов на их основе. Изготовление микробных инсектицидов, репеллентов и антифидантов значительно проще и дешевле, чем организация массового разведения паразитов и энтомофагов. Поэтому в развитых странах существует промышленное производство этих препаратов. В США с ним связано 140 научно-исследовательских лабораторий, финансируемых правительством (около 200 млн. \$ в год). К таким препаратам относится спиносад, созданный фирмой «ДауЭланко» (США) на основе почвенного микроорганизма *Saccharopolyspora spinosa*, оказывающий воздействие на нервную систему членистоногих. Он применяется против ряда двукрылых, жесткокрылых, чешуекрылых и трипсов на хлопчатнике, овощных и плодовых культурах, но безопасен для полезных насекомых, гидробионтов и млекопитающих [9]. Однако арсенал микробиологических средств относительно невелик, и они не могут сегодня претендовать на преимущественное применение. Поэтому тенденция поиска и разработки новых эффективных препаратов на основе микробного синтеза сохранится в обозримом будущем, наряду с постоянным усовершенствованием этих средств, что приведет к расширению сферы и объемов их использования.

Сегодня среди микробных инсектицидов доминируют бактериальные препараты, а в их числе преобладают средства на основе различных штаммов *Bacillus thuringiensis*. К концу века их было продано на 150 млн. \$, и тенденция расширения рынка сохраняется. Известно более 70 вариантов *Bac. thuringiensis*: таким образом, эта группа и далее останется наиболее перспективным источником новых инсектицидов. В различные периоды в СССР были разработаны и предложены производству препараты с высоковирулентными свойствами - энтобактерин, дендробациллин, битоксибациллин, гомелин, инсектин, БИП, турингины 1 и 2, бактокулицид, лепидоцид. Препараты из этой же группы, появившиеся в СНГ во второй половине 1990-х гг., позволили значительно расширить ассортимент бактериальных препаратов по сравнению со второй половиной 70-х гг. Новые бактериальные препараты баксин и сонит К характеризуются широким спектром действия и высокой эффективностью по отношению к комплексам листогрызущих насекомых. Среди них вредители садов (яблонная и плодовая моли, яблонная плодожорка, шелкопряды, пяденицы, листовертки, совки и т.д.), овощных культур (совки, белянки, моли, луговой и стеблевой мотыльки), винограда (гроздевая листовертка) и т.д. Однократная обработка яблони этими препаратами сразу после цветения при биологической эффективности 70-90% способна нейтрализовать популяции фитофагов. В других странах получили распространение бактоспеин, дипел, биотрол, туринджин и другие бактериальные инсектициды. Несмотря на то, что штаммы *Bac. thuringiensis* не вызывают эпизоотий и обладают ограниченным

спектром действия, возможности бактериального метода далеко не исчерпаны. Выделены новые штаммы с энтомоцидной, нематоцидной (против фито- и зоопаразитов) и биостимулирующей активностью - *Bac. thuringiensis* (var. *thuringiensis*, var. *israelensis* и var. *sotto*), *Bac. sphaericus*, *Bac. polymixa*, *Pseudomonas fluorescens* и *P. aureofaciens*, *Pasteurella*, причем наиболее активны штаммы *Bac. thuringiensis* - продуценты термостабильного β -экзотоксина. В последние годы особое внимание уделяется изучению генетического механизма продуцирования энтомоцидных кристаллических белков у *Bac. thuringiensis* [10]. Используемые методы позволяют создавать новые комбинации генетического материала, клонировать гены кристалогенных белков различного типа и получать препараты, обладающие видоспецифичным энтомоцидным действием [11]. С другой стороны, вероятно создание препаратов с расширенным спектром активности. Для объединения в одном геноме детерминантов β -экзотоксина и энтомоцидного белка Сгу III-типа было предложено конструирование транслоцирующих элементов с генами штаммов-продуцентов энтомоцидных соединений - β -экзотоксина, присутствующего в турингине, или битоксибацциллине и Δ -эндотоксина, входящего, например, в новодор. В результате новый препарат обладал комбинированным действием, и это значительно расширило возможности биологического контроля численности ряда растительноядных жесткокрылых насекомых. Так, биологическая активность нового штамма возросла в 3-4 раза по отношению к личинкам колорадского жука по сравнению с исходными продуцентами битоксибаццилина и новодора, и при этом снизилась вероятность формирования резистентных популяций насекомых.

В различных странах получили развитие поиск и разработка новых препаратов на основе природных антагонистов фитопатогенов, преимущественно из числа представителей почвенной микрофлоры. Несмотря на то, что эти исследования были начаты еще в середине XX века, именно сейчас удалось достигнуть существенного прогресса. Выделение ряда штаммов (*Trichosporon pullulans*, *T. harzianum*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bac. brevis* и др.), способных защитить виноград (ЮАР) и томаты (Греция, Великобритания, Франция) от серой гнили, снизить общую пораженность растений фузариозом (*Bac. aeruginosae* и *Enterobacter cloacea*) более чем на 70% (Великобритания) позволяет говорить о перспективности направления. Применение бактерий *Bacillus* spp. и *Pseudomonas fluorescens* предохраняло пасленовые культуры от развития фитофтороза (Нидерланды), а *Ps. fluorescens* также проявил антибактериальное действие на сое (США). Вероятно, эффект достигается за счет сочетания антибиотической активности и формирования резистентности растения [12]. Из культуры фитопатогена *Ps. syringae* выделены эндотоксины, содержащие липополисахаридные комплексы, которые подавляют заболевания растений, вызванные их продуцентом, или индуцируют устойчивость к ним [13], а стимулятор-фунгицид *Ps. lemoignei*, ингибирующий развитие альтернариоза, фузариоза и гельминтоспориоза, защищает растения в процессе вегетации и при хранении урожая [14].

В конце 70-х гг. XX века в СССР (ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии) и США (фирма MSD) был проявлен интерес к группе актиномицетов - продуцентам БАВ. В США был описан новый вид *Streptomyces avermitilis*, обладавший инсектоакарицидной и нематоцидной активностью по отношению к паразитам животных и растений и фитофагам, вредителям запасов и синантропным насекомым. На его основе был разработан инсектоакарицид абамектин, а затем серия препаратов из полусинтетических авермектинов - модифицированных природных веществ с биологической эффективностью 80-98%. Для них характерно быстрое антифидантно-биоцидное действие, но без ущерба для теплокровных животных и ряда энтомофагов - хищных клещей и божьих коровок. Кроме того, авермектины быстро разлагаются в окружающей среде, особенно под влиянием солнечной инсоляции. Но с экологической и токсикологической точек зрения авермектины обладают рядом недостатков, свойственным препаратам химического синтеза. Они представляют опасность для большинства гидробионтов и насекомых-опылителей [9]. В этом отношении от них выгодно отличается актинин и его метаболитные формы, разработанные на основе штамма 0234 во ВНИИСХМ [15].

Созданию вирусных и грибных препаратов уделяли меньше внимания, по сравнению с бактериальными, из-за ряда причин технологического порядка. Однако эти организмы в течение длительного периода находятся в поле зрения исследователей, а в дальнейшем препараты на их основе сохраняют позиции в биологической защите растений. Разработка новых вирусных препаратов базируется на серьезном фундаменте: сегодня известно свыше 2000 энтомопатогенных вирусов, из них 1200 бакуловирусов. В мире разработаны методы производства бакуловирусов (массового и *in vitro*), имеются приемы их генетического усовершенствования. В отличие от *Bac. thuringiensis*, они могут быть использованы не только как ингибирующее или энтомоцидное средство, но и как высокоспецифичные возбудители массовых эпизоотий, передающиеся из поколения в поколение, что имеет значение даже при обработке небольшой части популяции вредителя. В комплексе эти составляющие приводят к регулированию плотности популяций растительноядных насекомых и обеспечивают сохранение листового аппарата. В перспективе реально усовершенствование технологии и снижение стоимости производства и применения вирусных препаратов за счет экономии рабочей жидкости при обработках. В дальнейшем будет продолжаться поиск и отбор наиболее

активных штаммов и разработка новых препаратов с усовершенствованными добавками, позволяющими продлить активность вируса. Повышение качества препаратов возможно также путем генетических модификаций (введение генов членистоногих - продуцентов нейротоксинов и т.д.). В мире производится более 20 вирусных препаратов: в США - элькар, джипчик, поливирицид, вирон-Н, биотрол-VHZ, биоконтрол; в России - Вирин-ЭНШ (непарный шелкопряд), Вирин-КШ (кольчатый шелкопряд), Вирин-ЭКС (капустная совка), Вирин-ХС (хлопковая совка), Вирин-ОС (озимая совка) и Вирин-ГЯП (яблонная плодовая жорка), а в Украине - Вирин-Диприон (рыжий сосновый пилильщик), Вирин-ЗСП (обыкновенный сосновый пилильщик) и Вирин-НШ (непарный шелкопряд), во Франции - вирусин-МВ, в Японии - мацукемин. Сегодня в России ведется работа над новыми препаратами Вирин-ГЛМ (луговой мотылек), Вирин-АББ (американская белая бабочка), Вирин-КБ (капустная белянка), Вирин-ССН (совка С-черное), а в Украине - над Вирин-ДШ (дубовый шелкопряд).

В свое время энтомопатогенные свойства грибов нашли отражение в создании ряда препаратов, в первую очередь, боверина на основе *Beauveria bassiana* (Украинский НИИ защиты растений). Сегодня на территории СНГ к этому патогену восприимчивы около 110 видов насекомых [16]. Современная форма боверина, предназначенная для борьбы с колорадским жуком, разработана на основе бластоспор *Beauveria bassiana* шт. ТС-92 в ТОО НВЦ "Биодрон", а аналогичные препараты, производимые за пределами СНГ, представлены боверолом (Чехия), бетелом (Франция) и т.д. В других препаратах использованы энтомоцидные свойства грибов *Metarrhizium album*, *Verticillium leucanii*, *Paecilomyces fumosoroseus* и др. Получили известность также средства защиты растений от фитопатогенов и нематод. Так, триходерминовые препараты (триходел, трихосил, триходауелс и т.д.) применяют против широкого круга микозов растений, а фунгициды вермикуллен и хетомин на основе грибов *Penicillium* и *Chaetomium* разработаны в начале 90-х гг. во Всероссийском НИИ масличных культур. Для защиты картофеля от фитофтороза во ВНИИ фитопатологии использовали грибы *Colletotrichum coccodes* и *Pythium ultimum*, которые препятствовали заражению листьев и спорообразованию. Препарат Soil Guard на основе *Gliocladium virens* нашел применение против *Verticillium dahliae*, *Pythium* spp. и *Rhizoctonia solani*. Другие средства (*Trichoderma polysporum*, *Gliocladium roseum*) снижали пораженность растений фузариозом [12]. Препарат AQ10, в основе которого культура *Ampelomyces quisqualis*, эффективен против настоящей мучнистой росы, а культуры *Trichoderma koenigii*, *Verticillium lecanii* и *Paecilomyces lilacinus*, полученные в НИИ биологии Иркутского государственного университета, как и штаммы *Aspergillus*, *Arthrobothis* и *Cephalosporium*, угнетали развитие галловых нематод. Технология производства комплексного биодеградирующего препарата с нематоцидным действием была разработана во Франции Mohamad B'Chir (1995). В первую очередь он направлен против *Meloidogyne incognita* и включает два штамма хищного гриба *Monacrosporium salinum* Cp4 и Pi10 и связанные с ним бактерии *Bac. licheniformis* и *Ps. vesicularis*, стимулирующие биологическую активность гриба и участвующие в его разложении.

Новый аспект микробиометода, сформулированный в середине 1970-х гг. XX века, заключается в необходимости получения, наряду с энтомоцидными препаратами, средств селективного и профилактического действия, позволяющих сохранить урожай без массового истребления насекомых. До недавнего времени микроорганизмы, размножающиеся менее интенсивно, чем бактерии, но имеющие более совершенные механизмы защиты (актиномицеты, риккетсии, простейшие, цианобактерии и микроскопические водоросли и т.д.), по тем или иным причинам оставались малоизученными. Выявление среди них продуцентов БАВ с антифидантными, репеллентными, энтомоцидными, бактерицидными, фунгицидными и антигельминтными свойствами связано с целенаправленными поисковыми исследованиями 50-70-х гг. XX века. Именно тогда появились публикации, посвященные этим микроорганизмам, их эколого-биологическим особенностям, метаболизму, составу и свойствам продуцируемых ими БАВ, положению в системе межвидовых взаимоотношений и перспективам использования в защите растений от вредителей и болезней.

К числу энтомопатогенных простейших принадлежат некоторые виды амёб кинетопластид, грегарины, кокцидий, но наиболее высоким потенциалом в защите растений обладают микроспоридии, насчитывающие около 300 видов внутриклеточных паразитов насекомых, которые поражают более 200 хозяев и заметно снижают их численность. Простейших нельзя использовать в качестве быстро действующих инсектицидов, но в ряде случаев (низкая численность вредителя, сочетание с другими микробными препаратами и т.д.) их применение может быть вполне оправданным. Так, микроспоридии проявили высокую эффективность в борьбе с саранчовыми (Россия, ВИЗР), так же как препараты на основе спор *Nosema locustae* (США, Китай) или препарат Nolo Balt при обработке обширных территорий в США.

В рамках поиска микроорганизмов-продуцентов антифидантных, репеллентных и энтомоцидных веществ в 1978 г. нами была разработана концепция использования гидробионтов в защите растений. С тех пор установлены 24 вида цианобактерий и микроводорослей с избирательным ингибирующим эффектом по отношению к колорадскому жуку, американской белой бабочке, кольчатому и непарному шелкопрядам, плодовой моли и златогузке, а также к галловым нематодам [17-20]. Ранее эти исследования были проведены с комарами, а впоследствии – с саранчовыми,

тепличной белокрылкой и т.д. Использование гидробионтов и их метаболитов в защите растений представляется перспективным и с той точки зрения, что выработка резистентности наземными организмами к нетипичным веществам окажется затруднительной.

Существует возможность совмещения энтомоцидных свойств различных организмов: существует опыт внедрения гена *Bac. thuringiensis* var. *israelensis* H14 в цианобактерию *Anabaena* для борьбы с комарами.

Перспективы применения нематод-паразитов насекомых в защите растений также заслуживают внимания. Ряд специалистов в области патологии насекомых относит эту проблему к микробиометоду [21], отводя нематодам важную роль в биологическом контроле. Другие исследователи придерживаются мнения о том, что нематоды, поражающие насекомых должны рассматриваться отдельно, желательно вместе с паразитоидами и энтомофагами [22]. Мы предпочитаем обсудить гельминтозы насекомых сразу же после микробных патогенов, т.к. действующим агентом, вызывающим гибель хозяина, является нематодно-бактериальный комплекс. Представители нематод, паразитирующие у насекомых, их действие на популяции и перспективы использования в биологической защите растений исследованы недостаточно, хотя известно, что нематоды связаны с большинством отрядов насекомых и с клещами. Вероятно, нематоды значительно сокращают численность саранчовых, у которых они встречаются значительно чаще других паразитов, короедов и комаров. В ряде стран - США, Австралии, Китае, Нидерландах и Польше - разработаны шесть препаратов на основе энтомопатогенных нематод. Препараты биовектор (на основе *Steinernema carpocapsae*) и биоинсектицид (на основе *Heterorhabdites heliothides*), зарегистрированы в США и предназначены для борьбы с колорадским жуком. В будущем вероятно создание и других препаратов: известны потенциальные агенты для подавления колорадского жука (*Pristionchus uniformis*, *Steinernema bibionis* и *S. glaseri*). В России (ВИЗР) на основе инвазионных личинок разработаны препараты немабакт (*Steinernema carpocapsae* st. *agriotos*) и энтонем-F (*S. feltiae*). Немабакт оказывает отрицательное влияние на жизненные функции клопа вредная черепашка, ингибируя массовый выход из листовой подстилки после зимовки. Высокая эффективность препарата проявляется в смеси с биостатом, который повышает выживаемость нематод, особенно по отношению к колорадскому жуку, хлопковой совке и картофельной моли. Энтонем-F угнетает жизненные функции колорадского жука. Известно также использование нематод *Phasmarhabditis hermaphrodita* для защиты полевых и садовых культур от улиток и слизней (США).

По своей идее к микробиометоду примыкают генетические работы, направленные на искусственное изменение наследственных свойств растений путем прямого переноса генов энтомопатогенного организма, или генов растений, регулирующих синтез белковых соединений-ингибиторов роста насекомых. Первые сорта трансгенных растений, устойчивых к вредителям и болезням, были представлены на рубеже 1980-х и 1990-х гг. фирмой "Монсанто", это ознаменовало возникновение новой отрасли индустрии высоких технологий. Свойства Bt-защищенных растений кукурузы, хлопчатника и картофеля обусловлены внедрением кристаллических белков (Сгу-белки) *Bac. thuringiensis*, оказывающих влияние на листогрызущих насекомых на клеточном уровне и имеющих избирательный характер. Различные классы Сгу-белков активны против конкретных видов насекомых, но не представляют опасности для человека, энтомофагов и других нецелевых организмов. Сегодня посевы трансгенных форм картофеля занимают 29000 га в США, обширные площади в Канаде и других странах, причем только в США эта территория в течение 1997-98 гг. расширилась в три раза, что свидетельствует о бурном развитии направления. В странах Европы, Китае, Мексике, Бразилии и Аргентине получены сорта томатов, устойчивые к вирусным заболеваниям, а хлопчатника - к розовому червю, табачной и хлопковой совкам (ряд сортов хлопчатника был испытан в Узбекистане). В 2005 г. трансгенными сортами кукурузы и хлопчатника с геномом Сгу-белка было засеяно 26,3 млн. га. В России эти работы ведут ВНИИ фитопатологии, ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии, ВНИИ картофельного хозяйства, Институте физиологии растений, Центре "Биоинженерия" РАН, а некоторые трансгенные сорта картофеля прошли испытания в Украине, Грузии и Армении. При этом в Австралии описаны случаи формирования резистентности у хлопковой совки *Helicoptera armigera* к токсину Сгу 1 Ас *Bac.thuingiensis* на протяжении 1996-2005 гг. [23].

К другим источникам для разработки биопрепаратов относятся высшие растения и беспозвоночные животные. Анализ материалов, касающихся перспектив использования вторичных метаболитов растений с бактерицидными, антифидантными и репеллентными свойствами, выходит за рамки данной публикации. Мы остановимся лишь на некоторых препаративных формах, например, на инсектициде NeemAzal-T/S, производимом в Швейцарии (1996 г.) и в Германии (1998 г.) на основе экстракта *Azadirachta indica* с широким спектром действия, охватывающим 140 видов растительноядных клещей и насекомых. В дополнение к ранее выполненным работам, доказавшим антифидантные свойства экстрактов *A. indica*, испытания препарата выявили его гормональное (нарушение процессов выработки экдизона у личинок и созревания яиц у имаго) и энтомоцидное действие при очень быстром разложении в окружающей среде. Важная роль в разработке биопестицидов принадлежит организмам-продуцентам терпеновых соединений [24]. Препарат

биостат, созданный во Всероссийском НИИ биологической защиты растений на основе смеси кубовых остатков и фракций кориандрового масла, базилика, лаванды и производных ряда терпеновых спиртов и альдегидов обладает бактерицидной, фунгицидной (корневые гнили озимой пшеницы, серая гниль и милдью винограда), инсектоакарицидной (чешуекрылые, колорадский жук и т.д.) и нематоцидной активностью. При этом биостат является аттрактантом для природных энтомофагов колорадского жука - *Coccinellidae*, *Pentatomidae*, *Chrysopidae*, быстро разлагается в окружающей среде и не оказывает отрицательного влияния на позвоночных и насекомых. Водная эмульсия кориандрового масла (0,03% д.в. + 26% линалоола) на 97% угнетала большую картофельную тлю, а некоторые его фракции проявляли фунгицидную активность (курчавость персика, парша семечковых). Эмульсия α -терпинеола подавляла развитие бахчевой и персиковой тлей на 90-95%, а паутинного клеща - на 60-70% на томатах и огурцах. [25]. Аналогичные результаты были получены нами при исследовании терпеновых соединений цианобактерий на американской белой бабочке [26] и специалистами из Института биологии Карельского исследовательского центра РАН, которые применили кору хвойных деревьев против нематод *Globodera rostochiensis* путем внесения в почву, параллельно стимулировалось развитие картофеля.

Препараты на основе хитозана, выделенного из хитина морских ракообразных (криля, крабов и т.д.), заслуживают особого внимания. Например, во ВНИИ биологической защиты растений установлено, что нарцисс - стимулятор роста, включающий хитозан (50%), янтарную (30%) и глютаминовую (20%) кислоты, повышает устойчивость растений к заболеваниям (риса к пирикулярриозу, пшеницы к бурой ржавчине и корневым гнилям, томатов к фузариозу и фитофторозу) и угнетает их возбудителей. Среди них корневые гнили зерновых и овощных культур, мучнистая роса огурцов, ложная мучнистая роса и белая гниль подсолнечника. Кроме того, препарат проявил нематоцидную активность, разрушая хитиновую оболочку галловых нематод, обеспечивая защиту огурцов в теплицах с низкой или средней степенью заражения [27]. При сочетании с триходермином нематоцидная активность препарата возрастает вдвое. Хитозан входит в состав другого препарата - хитозара, проявляющего высокую эффективность в борьбе с фузариозно-гельминтоспориозной корневой гнилью ячменя, мучнистой росы и фузариоза колоса пшеницы (ВИЗР) [28].

В последние годы в защите растений нашли применение зоотоксины. Препарат с нейротоксином кобры использовали против бахчевой коровки, хлопковой совки, фитонюмса и, вероятно, колорадского жука, а яд жабы - против белокрылки, тлей, паутинного клеща (НИИ сельского хозяйства Туркменистана, Всероссийский НИИ биологической защиты растений) [28]. В США в 1996 г. Janice Johnson и Robert Kral выделили инсектицидные пептиды из яда паука *Segestria* sp., а ранее вещества с аналогичным действием были обнаружены у скорпиона [29]. В Японии из морских кольчатых червей *Lumbriconereis heteropoda* еще в 1934 г. было выделено гетероциклическое соединение нереизтоксин, обладающее энтомоцидными и фунгицидными свойствами и ставшее родоначальником более 300 производных синтезированных веществ. Так, токсин червя *Amphiporus angulatus* был использован при разработке препарата картан (падан) против вредителей риса [30]. Но наиболее широкую известность получил препарат банкол, синтезированный японской фирмой Takeda на основе токсина морских кольчатых червей, действие которого основано на блокаде передачи сигналов в центральную нервную систему насекомых и нарушении их важнейших жизненных функций. Банкол обладает избирательным энтомоцидным действием на узкий круг фитофагов (колорадского жука, люцернового долгоносика и рапсового цветоеда), но слаботоксичен для насекомых-опылителей и позвоночных животных (Украина применяет препарат на площади 1 млн. га). Токсин бонеллин с аналогичными свойствами был выделен из колючеголового червя *Bonellia viridis* и послужил основой для серии препаратов с энтомоцидными и фунгицидными свойствами. Предложенная нами концепция применения БАВ гидробионтов в защите растений, базирующаяся на экспериментальных данных, позволяет предположить появление новых препаратов, включающих метаболиты других морских беспозвоночных животных.

Обзор имеющихся данных позволяет определить дальнейшие перспективы поиска и разработки новых средств защиты растений.

Заключение

Существующая ситуация уже сейчас приводит к формированию единого мнения о необходимости создания экологически обоснованных систем защиты растений на основе отказа от интенсивных технологий, базирующихся на химизации сельского хозяйства. Сложившийся набор препаратов имеет ряд положительных сторон. Несмотря на разрозненность усилий по их созданию в мире и в СНГ, удалось разработать большое число средств защиты растений, различных по спектру и механизму действия. Обогащение арсенала энтомоцидных и селективно-профилактических биопрепаратов обеспечивает предпосылки для организации новых систем защиты растений. Их основная черта - варьирование различных биологических агентов или соединений природного происхождения (или своевременное введение в систему альтернативных приемов). Набор этих приемов может значительно замедлить, а в ряде случаев предотвратить развитие резистентности и способствовать

восстановлению процессов естественной регуляции численности растительноядных видов в агроэкосистемах. Очевидно, что реализация задачи связана с осуществлением мониторинга популяций насекомых, их динамики и локализации, изучением принципов саморегулирования межвидовых взаимоотношений в природных и искусственных экосистемах, включая основные звенья - микроорганизмы, растения, растительноядные и хищные членистоногие, - а также процессы, в которые они вовлечены. Очень важно определить разумное соотношение между фундаментальным и прикладным аспектами научного подхода к биологической защите растений. Также нельзя допускать непропорциональных повышений рыночных цен на биопрепараты. Необходимо предусмотреть и то, что после применения микробных препаратов насекомые какое-то время могут продолжать питание, хоть и с меньшей интенсивностью. В этом случае вероятно некоторое снижение товарного вида продукции, однако, оно компенсируется сокращением срока ожидания и экологической чистотой урожая. Весьма перспективны оптимальные препаративные формы, комбинированные средства, включающие несколько видов микроорганизмов, новые технологии их применения, основанные на чередовании и сочетании различных препаратов. Особо пристальное внимание будет уделяться проблеме токсикологической оценки новых средств и систем, в связи с их экологической безопасностью и взаимоотношениями со всеми компонентами агробиоценозов, а также влиянием абиотических и биотических факторов на биологическую эффективность.

При обсуждении перспектив метода необходимо предусмотреть специфические особенности, характерные для СНГ. В условиях одного хозяйства нереально приобрести оборудование для производства биопрепаратов. Однако возможно организовать межхозяйственные научно-производственные лаборатории со специалистами высокой квалификации, способными решать задачи создания новых и усовершенствования существующих препаратов, формирования коллекций штаммов-продуцентов (принимая во внимание их нестабильность и способность к потере активности), разработки и осуществления методик экспресс-тестирования в лабораторных и полевых условиях, оформления технических условий и регламентов производства и применения, а также подготовки документации для регистрации препаратов в государственных структурах. Кроме того, очень важна разработка новых методических рекомендаций по применению биопрепаратов в условиях фермерских хозяйств, отличающихся от крупных агропромышленных комплексов. Неотъемлемой частью этой системы должны стать экспериментальные малотоннажные производства с гибкой системой реагирования на запросы потребителя. Однако в этих условиях необходим строгий контроль производства со стороны государственных структур для оценки качества продукции. С юридической точки зрения нужно отрегулировать вопросы сотрудничества в этой области со странами СНГ и Европы, включая обмен научно-технической продукцией, авторские права и т.д. Примерами могут служить региональные производства биопрепаратов в США и Западной Европе и малотоннажные производства Украины.

Література

1. Гольдин Е.Б. Биологическая защита растений в XXI веке: тенденции и перспективы / Е. Б. Гольдин // Агропромышленный комплекс Крыма в XXI веке: Научные труды Крымского государственного аграрного университета. - Вып. 68. - Симферополь, 2002. -С. 122-131.
2. Трибель С.А. Проблемы фитосанитарии на Украине / С. А. Трибель // Защита и карантин растений // Защита и карантин растений. - 1998. - № 4. - С. 12-14.
3. Brown D. Specificity, exclusivity and complementarity in the transmission of plant viruses by plant parasitic nematodes: An annotated terminology / D. Brown, B. Weischer // Fundam. and Appl. Nematol. - 1998. - 21, N 1. - P. 1-11.
4. Романенко Н.Д. Фитопатокмплесы в ценозах / Н. Д. Романенко, Б. В. Буров, Н.И. Козырева, В.В. Стародубцев // Защита и карантин растений. - 2000. - № 9. - С. 27.
5. Gomi T. Shifting of the life cycle and life-history traits of the fall webworm in relation to climate change / T. Gomi, M. Nagasaka, T. Fukuda, H. Hagihara // Entomol Exp. Appl. - 2007. - 125. - P. 179-184.
6. Гольдин Е.Б. Американская белая бабочка в Крыму: реальность угрозы и пути ее устранения / Е. Б. Гольдин // VIII з'їзд ГО "Українське ентомологічне товариство", 26-30 серпня 2013 р. – К., 2013. – С. 36-37.
7. Šestovič M. Problem rezistentnosti insekata s aspekta integralne zaštite biljaka // Agron. glas. - 1974. - 36, № 9-12. - P. 603-610.
8. Mota-Sanchez D. Insect Resistance Database Report 2012 [Электронный ресурс] / [D. Mota-Sanchez, M. E. Whalon, R. M. Hollingworth] // In: Global Insect Resistance. - East Lansing, MI48824, Department of Entomology Michigan State University, 2012. – Режим доступа: <http://www.pesticideresistance.org>. – Назва з екрана.
9. Рославцева С. А. Новые направления в разработке современных инсектоакарицидов / С. А. Рославцева // Защита и карантин растений. - 1998. - № 1. - С. 28-29.
10. Baum J. Regulation of insecticidal crystal protein production in *Bacillus thuringiensis* / J. Baum, T. Malvar // Mol. Microbiol. - 1995. - 18, N 1. - P. 1-12.
11. Koo B. T. Cloning of a novel crystal protein gene Cry IK from *Bacillus thuringiensis* subsp. *Morrisoni* / B. T. Koo, S. H. Park, S.K. Choi et al. // FEMS Microbiol. Lett. - 1995. - 134, N 2-3. - P. 159-164.
12. Игнатова С. И. Антагонисты патогенных микроорганизмов филлосферы / С. И. Игнатова, С. Ф. Багирова // Защита и карантин растений. - 1998. - № 2. - С. 62.

13. Müller P. Induzierte Resistenz durch bakterielle Lypopolysaccharide (LPS) und LPS-Komponenten / P. Müller, K. Rudolph // Mitt. Biol. Bundesanst. Land. und Forstwirt. Berlin-Dahlem. - 1998. - N 357. - S. 151.
14. Пат. 2121271 Россия. Штамм бактерий *Pseudomonas lemoignei* для получения препарата, используемого для стимуляции роста и защиты растений от грибных фитопатогенов в процессе вегетации и при хранении урожая; МПК⁶ A01N 63/00, C12N 1/20 / Н. А.. Божко, Г. Г. Ананько, В. Е. Репин // Гос. науч. центра прикл. вирусол. и биотехнол. "Вектор" - № 97105110/13. Заявл. 02.04.97; опубли. 10.11.98. – Бюл. № 31.
15. Кандыбин Н. В. Актинин - эффективное средство защиты картофеля от колорадского жука / Н. В. Кандыбин, Г. В. Самоукина // Патология членистоногих и биологические средства борьбы с вредными организмами. - К., 1982. - С. 96-97.
16. Павлюшин В. А. Биологическая защита растений от колорадского жука / В. А. Павлюшин // Защита и карантин растений. - 2000. - № 10. - С. 19-21.
17. Гольдин Е. Б. Микроскопические водоросли как трофоингибиторы вредных насекомых / Е. Б. Гольдин Н. В. Кандыбин // С.-х. биология. - 1987. - № 6. - С. 45-50.
18. Гольдин Е. Б. Фаголизаты цианобактерий: их биоцидность и использование / Е. Б. Гольдин, М. И. Менджул // Микробиол. журн. - 1996. - 58, № 5. - С. 51-58.
19. Gol'din E. V., The blue-green algae as the producers of the natural pesticides / E. V. Gol'din, L. A. Sirenko // Альгология. - 1998. - № 1. - С. 93-104.
20. Гольдин Е.Б. Биологическая активность микроводорослей и ее значение в межвидовых взаимоотношениях / Е. Б. Гольдин // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – Выпуск 9. – Симферополь: ТНУ, 2013. - С. 49-76.
21. Микроорганизмы в борьбе с вредными насекомыми и клещами / Под ред. Г. Д. Барджеса и Н. У. Хасси. - М.: Колос, 1976. - 584 с.
22. Коппел Х., Мертинс Дж. Биологическое подавление вредных насекомых / Х. Коппел, Дж. Мертинс. - М.: Мир, 1980. - 428 с.
23. Gunning R. Piperonyl Butoxide, restores the efficacy of *Bacillus thuringiensis* toxin in transgenic cotton against resistant *Helicoverpa armigera* / R. Gunning, V. Borzatta, E. Cottage et al. // 8th European Congr. Entomol., Izmir, Turkey, 17-22.09.2006. – Abstr. Book. – Izmir, 2006. – P. 121.
24. Гольдин Е. Б., Гольдина В. Г. Эколого-биологическое значение терпенов и их практическое использование: методологические аспекты / Е. Б. Гольдин, В.Г. Гольдина // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – Вып. 4. – Симферополь: ТНУ, 2011. - С. 104-111.
25. Надыкта В.Д., Исмаилов В.Я., Коваленков В.Г. Биозащита растений / В. Д. Надыкта, В. Я. Исмаилов, В. Г. Коваленков //Защита и карантин растений. - 1999. - № 12. - С. 21-22.
26. Gol'din E.V., Gol'dina V.G. Insecticidal activity of harmful cyanobacteria: the role of terpene substances/ E. V. Gol'din, V. G. Gol'dina // G.M. Hallegraef, S.I. Blackburn, C.J. Bolch & R.J. Lewis (eds.). Harmful Algal Blooms 2000, IOC of UNESCO, Paris, 2001 - P. 403-406.
27. Доброхотов С. А. Нарцисс в теплицах против галловой нематоды / С. А. Доброхотов //Защита и карантин растений. - 2000. - № 4. - С. 21.
28. Чертова Т. С. Биологически активные вещества в защите растений / Т. С. Чертова //Защита и карантин растений. - 2000. - № 6. - С. 58-62.
29. Zlotkin E. Toxins selective to insects derived from scorpion venoms / E. Zlotkin, L. Teitelbaum, D. Lester, P. Lazarovici // Toxicon. - 1979. - 17, 1. - P. 208.
30. Гурин И. С. Биологически активные вещества гидробионтов - источник новых лекарств и препаратов / И. С. Гурин, И. С. Ажгихин. - М.: Наука, 1981. - 136 с.

Анотація. Є. Б.Гольдін **Біологічний захист рослин з точки зору проблем XXI сторіччя.** Проаналізовано сучасне становище біологічного методу захисту рослин від шкідливих організмів в світі та в СНД, що склалося під впливом ряду факторів. Ураховуючи накопичений досвід, у тому числі особисті дослідження, зроблено намагання прогнозу подальшого розвитку напрямку. Особлива увага присвячена мікробним препаратам на основі бактерій, вірусів, грибів, ціанобактерій, микроводоростей, найпростіших і нематод, а також використанню інших продуцентів біологічно активних речовин, у тому числі гідробионтів. Розглянуті різноманітні підходи до рішення проблем біологічного захисту рослин у сьогоденній ситуації.

Ключевые слова: сталий розвиток, біологічний захист рослин, мікробні препарати, бактерії, віруси, гриби, ціанобактерії, микроводорості, найпростіші, нематоди, гідробионти, біологічно активні речовини.

Abstract. E. B. Gol'din **The biological plant protection in the light of problems of XXI century.** The present-day situation in the sphere of plant protection and pest control in the world and NIS was analyzed by taking into account of existing factors. On the base of obtained experience, including author research, the attempt of prognosis of further development of directions for future investigations was undertaken. Especially microbial agents, e.g. bacteria, viruses, fungi, cyanobacteria, microalgae, protozoa and nematodes, took our attention, as well as the other producers of biologically active substances, first of all, hydrobionts. Different ways of solution of the problem of today biological plant protection were examined.

Keywords: sustainable development, biological plant protection, microbial agents, bacteria, viruses, fungi, cyanobacteria, microalgae, protozoa, nematodes, hydrobionts, biologically active substances.

Поступила в редакцію 17.02.2014 г.