

УДК 632.954

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОРАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕРБИЦИДОВ

А.О. Берестецкий

Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург

Несмотря на зеленую революцию, связанную с появлением химических гербицидов, сорные растения и другая нежелательная растительность (инвазивные виды, наркотикосодержащие растения), остаются серьезной проблемой в растениеводстве. Это связано с появлением устойчивых к гербицидам форм сорных растений и запретом применения химических препаратов вблизи жилья и в органическом земледелии. Для решения этой проблемы разрабатываются микробиологические препараты (биогербициды) и биорациональные гербициды на основе природных соединений. В обзоре (преимущественно на основе литературы 2010–2016 гг.) рассмотрены вред систематического применения химических гербицидов, успехи разработки классической стратегии биологической борьбы с нежелательной растительностью, а также коммерческие и перспективные биологические и биорациональные гербициды.

Ключевые слова: сорные растения, инвазивная флора, биоконтроль, гербициды, биогербициды, биорациональные гербициды

Введение в проблему. Нежелательная растительность – прежде всего сорные и инвазивные виды растений – постоянный компонент антропогенных экосистем, требующий жесткого контроля, чтобы избежать накопления их длительно сохраняющихся семян в почве. Средние потери урожая от засоренности посевов колеблются около 10%, но зависят от культуры, внесения удобрений, погодных условий и иногда могут достигать до 50%. Причем при высокой засоренности посевов многие элементы растениеводческих технологий (внесение удобрений, использование высокопродуктивных сортов, фитостимуляторов и т.п.) оказываются практически бессмысленными. Поэтому объемы применения химических гербицидов (ХГ) в несколько раз превышают количество используемых в последнее время других средств защиты растений [Aktar et al., 2009; Cantrell et al., 2012; Говоров и др., 2015].

Несмотря на то что ассортимент действующих веществ ХГ достаточно широк, существует целый ряд проблемных растений, борьба с которыми неэффективна при использовании стандартных подходов. Так, для искоренения многолетних сорных растений (таких как бодяк щетинистый, осот полевой, вьюнок полевой) требуются многократные механическая обработка почвы (вспашка, боронование) и применение повышенных доз химических гербицидов. Еще сложнее технологии борьбы с паразитическими сорными растениями, которые дополнительно включают выведение и использование устойчивых сортов. С другой стороны, многие растения, особенно инвазивные заносные виды (например, амброзия полыннолистная, борщевик Сосновского, галинсога мелкоцветковая), растут на непахотных землях и вблизи жилья, что делает борьбу с ними весьма непростой задачей. Еще одной группой «проблемных» растений являются наркотикосодержащие виды (например, мак опийный и дикая конопля), уничтожение или значительное ухудшение товарного вида которых относительно безвредными для окружающей среды способами достаточно затруднительно.

Интенсивное применение ХГ может приводить к нежелательным последствиям: загрязнению почвы и сточных вод, накоплению их остатков в урожае [Aktar et al., 2009]. Так, во Франции из 15 пестицидов, выявленных в грунтовых водах и реках, большинство – гербициды [Cordeau et al., 2016]. В последнее время появляется статистически подтвержденная информация, что в районах интенсивно-

го применения пестицидов увеличено количество случаев болезни Альцгеймера [Yan et al., 2016]. Многие исследования показывают, что глифосат – наиболее применяемый в настоящее время гербицид – обладает генотоксическими и канцерогенными свойствами [Bakry et al., 2015; Cressey, 2015].

Еще одна очень серьезная проблема – появление резистентных к ХГ популяций сорных растений. Значительное их количество как раз наблюдается в тех странах, где гербициды много и активно применяют. В России эта проблема пока стоит менее остро. На 7-м Международном гербологическом конгрессе, проходившем в Праге в июне 2016 г. (автор статьи принимал в нем участие), эта проблема была отмечена как приоритетная. Это связано с большими трудностями в разработке ХГ с новыми механизмами действия. Представители некоторых агрохимических компаний утверждают, что в ближайшие 10 лет не стоит ждать новых препаратов, действующих на принципиально новые молекулярные мишени, что позволило бы бороться с резистентными видами. Поэтому приходится серьезно задумываться, как решать эту проблему в будущем, используя проверенные агротехнические приемы и новые продукты для борьбы с сорными растениями [Shaner, Beckie, 2014].

В связи с вышесказанным вполне понятно желание потребителей сельскохозяйственной продукции и ее производителей не только повысить эффективность действия ХГ, но в ряде случаев использовать пусть менее эффективные, но более безопасные альтернативы. Поэтому создание экологически малоопасных средств борьбы с нежелательной растительностью ведется во всех развитых странах мира. В качестве таких альтернатив являются сейчас биологический метод и биорациональные гербициды.

Классическая стратегия биологической борьбы с сорными растениями. Классическая стратегия предусматривает импорт эффективных, безопасных и специфических фитофагов или фитопатогенов, способных к самостоятельному распространению из точек интродукции для подавления целевых заносных (инвазивных) видов растений. Поскольку в 20 веке проблема биологических инвазий была наиболее острой в Новом Свете (в частности, в США, Канаде, Австралии, Новой Зеландии), то и наиболее значительный прогресс в этом направлении достигнут в этих странах [McFadyen, 1998]. Так, в США предлагаются коммерческие продукты на основе насекомых-фитофагов для

борьбы с такими сорняками как: молочай острый, видами бодяка и чертополоха, зверобоем продырявленным, льнянкой обыкновенной и другими. Средняя цена одной особи – около 1 доллара [Bio-Control Products for 2016, электронный ресурс]. Успешной была интродукция некоторых видов ржавчинных грибов (преимущественно видов рода *Puccinia*) в США и Австралии для борьбы с сорными растениями из семейства сложноцветные [Evans, 2013]. Например, в исследованиях, выполненных в США, России, Новой Зеландии и Греции, оказалось возможным создание эпифитотий в популяциях бодяка полевого путем осеннего почвенного внесения телиоспор *Puccinia punctiformis*. В Новой Зеландии удалось заразить на опытных делянках в среднем до 70% растений, в РФ – до 30% [Berner et al., 2013].

Серьезное финансирование программ биологической борьбы с сорными растениями осуществляется сейчас в Австралии, где ежегодный урон от инвазивных видов достигает полумиллиарда долларов. В 2016 г. правительство Австралии и различные коммерческие организации выделили 13 млн долларов на проект, направленный на поиск организмов, сдерживающих численность десяти наиболее вредоносных видов растений: *Lycium ferocissimum*, *Cabomba* spp., *Vachellia nilotica*, *Sagittaria* spp., *Solanum elaeagnifolium*, *Conyza bonariensis*, *Sonchus arvensis*, *Bryophyllum delagoense*, *Sporobolus pyramidalis* и *Chrysanthemum leucanthemum* [Government funding announced for weed biocontrol R&D project, электронный ресурс]. В 2016 г. экологическое ведомство США (U.S. Department of the Interior) обозначило биологический метод борьбы с заносными сорными растениями как одно из наиболее экономически выгодных и приоритетных направлений исследований [Addressing the Needs of Classical Biological Control Programs, электронный ресурс]. Действительно, затраты на разработку классического биоконтроля возвращаются в виде экономической выгоды в соотношении примерно 1:27 [Hershenhorn et al., 2016].

Перспективы классической стратегии борьбы с сорными растениями серьезно рассматривают в Европейском Союзе [Shaw et al., 2016]. В 2005 г. завершился крупный трехгодичный научно-исследовательский проект «Giant Alien» по разработке биологического метода борьбы с гигантскими борщевиками (*Heracleum mantegazzianum*, *H. sosnowskyi* и *H. persicum*), на основе которого была выпущена брошюра «Практическое пособие по борьбе с гигантскими борщевиками», доступная на русском языке [Booy et al., электронный ресурс]. Один из последних (2013–2017) европейских проектов COST SMARTER [SMARTER, электронный ресурс] – это координационный проект (в котором участвует и автор этой статьи) по биологической борьбе с амброзией полыннолистной, в котором преимущественно изучается потенциальное применение ряда видов фитофагов, питающихся амброзией, в частности, жука-листоеда *Ophraella communa* [Müller-Schaerer et al., 2014].

В нашей стране относительно успешно был реализован лишь один «классический» проект: после тщательного отбора в 1968 г. в СССР был завезен амброзиевый листоед (*Zygogramma suturalis*) для борьбы с амброзией полыннолистной. В настоящее время этот фитофаг широко расселился в ареале распространения амброзии, но его значение в подавлении сорняка несущественно, чтобы снизить плотность популяции этого сорняка [Резник, 2009]. Од-

нако работы по внедрению новых насекомых-фитофагов продолжают [Esipenko, Zamotajlov, 2014; Есипенко и др., 2016], в которых надежды возлагаются на упомянутого выше листоеда *O. communa* и амброзиевую совку *Tarachidia candefacta*.

Gary Clewley с соавторами [Clewley et al., 2012], проанализировав 61 публикацию с 2001 по 2011 г., выявил, что несмотря на то, что число успешных проектов по интродукции естественных врагов сорных растений невелико по отношению к общему числу опубликованных работ, в среднем насекомые-фитофаги снизили высоту целевых растений на 28%, образование цветов и семян на 35 и 42%, плотность популяций нежелательной растительности на 56%, при этом разнообразие местной флоры увеличилось на 88%. Наиболее эффективными ограничителями численности сорных растений были жуки из семейств *Chrysomelidae* and *Curculionidae*. Несмотря на этот успех, классический биометод не всегда эффективен, нуждается в государственной поддержке и длительных предварительных исследованиях за рубежом (как правило, на родине целевого растения) для поиска, отбора и тестирования организмов, контролирующих численность заносных видов.

Биогербициды. Биогербицидами (БГБ) называют микробные препараты для борьбы с сорной растительностью, которые направлены на то, чтобы вызывать сильные локальные эпифитотии в популяциях сорных растений. Иногда к ним относят растительные или микробные экстракты с фитотоксическими свойствами, очищенные микробные фитотоксины, а также синтетические аналоги природных фитотоксических соединений. Эту группу препаратов я отношу к биорациональным химическим гербицидам (БХГ), которая будет рассмотрена в другом подразделе статьи. Промежуточное положение занимают биогербициды, действие которых обусловлено прежде всего фитотоксическими метаболитами, образуемыми их продуцентами.

В качестве действующего начала БГБ используют прежде всего фитопатогенные грибы, а также бактерии и вирусы [Harding, Raizada, 2015]. Этапы разработки микогербицидов (биогербицидов на основе грибного инокулюма), методы повышения их эффективности описаны нами ранее [Берестецкий, 1997; 2004; Берестецкий, Сокорнова, 2009]. Число успешных проектов по разработке БГБ не столь велико, как классических препаратов, но интерес частных компаний к ним выше [Ash, 2010]. К настоящему моменту зарегистрировано чуть более 10 биогербицидов, однако ни один из них широко не применяется. Да и не может применяться широко, поскольку большинство из них – селективные препараты, которые были разработаны для подавления конкретных проблемных видов сорных растений. Так, препарат на основе гриба *Phytophthora palmivora* был столь эффективен против *Morrenia odorata* во Флориде (США), что сорняк практически исчез на защищаемых плантациях цитрусовых, а с ним отпала необходимость применять биогербицид. Один из первых БГБ Collego® в виде растворимого порошка на основе *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene*, разрешенный к применению в США в 1982 г., недавно был перерегистрирован под торговой маркой LockDown™, однако его применение ограничено в связи с небольшим спросом [Hershenhorn et al., 2016].

Интересно, что «пионерами» создания биогербицидов считают советских ученых [Wapshere, 1982]. Так, первый

советский БГБ на основе гриба *Alternaria cucurbitacidae* для борьбы с повиликой был разработан О.Л. Рудаковым в 1960-х годах [Рудаков, 1961], однако тогда он не выдержал испытания практикой. В 2005 г. в США был зарегистрирован аналог этого БГБ – препарат Smoulder G, действующим началом которого является *Alternaria destruens* [Bailey, 2014].

Относительно недавно в Канаде были зарегистрированы 2 биогербицида для борьбы с двудольными сорняками для использования на газонах. Один – на основе гриба *Sclerotinia minor* (препарат Sarritor), другой – на основе *Phoma macrostoma* (препарат «Phoma»). Если первый гриб – патоген широкого спектра двудольных растений, то штаммы второго гриба поражают преимущественно сложноцветные сорняки (одуванчик, бодяк, осот др.) и некоторые другие виды. Экспериментальные данные показывают, что «Phoma» уступает химическим гербицидами как по биологической эффективности, так и по спектру поражаемых сорняков [Smith et al., 2015]. Оба препарата, которые представляют собой «гранулы» обросшего грибным мицелием зерна, рекомендуются для применения и в частных хозяйствах на газонах [Quarles, 2010; Hershenthorn et al., 2016]. В последнее время регулярно появляются публикации об эффективных полевых испытаниях слабо специализированных патогенов – *Myrothecium verrucaria* и *M. roridum*. Так, БГБ на основе *Myrothecium verrucaria* испытывается в США для борьбы с кудзу – заносным бобовым растением; он особенно эффективен в сочетании со стандартными гербицидами, уничтожая до 90% этого сорняка и освобождая «место» для локальной флоры [Weaver et al., 2016]. *M. roridum* был эффективен для уничтожения водного гиацинта [Piyaboon et al., 2016].

Несколько биогербицидов было зарегистрировано для борьбы с нежелательной древесной растительностью. После того как было определено, что возбудитель млечного блеска *Chodrostereum purpureum* распространяется не далее, чем на 500 м от места внесения, штамм этого гриба, выделенный из яблони, коммерциализован в Европе и Канаде как микогербицид для уничтожения «сорных» деревьев (березы, осины, ольхи, терновника) [Evans, 2013]. В настоящее время его применение активно изучается и в Новой Зеландии с целью борьбы с видами ивы [Bellgard et al., 2014]. В 2013 г. прошел регистрацию БГБ Di-Bak Parkinsonia для борьбы паркинсонией шиповатой (*Parkinsonia aculeata*). Его выпускает компания Bio-Herbicides Australia. Препарат представляет собой капсулы, которые специальным прибором вводят в ствол деревьев [http://www.bioherbicides.com.au/bha-weed-control/parkinsonia].

Главным общеизвестным недостатком биопестицидов, включая БГБ, который все еще тормозит их широкое внедрение, является замедленное действие и/или недостаточная высокая биологическая эффективность по сравнению с ХГ. Следует также отметить ограниченные сроки хранения биопестицидов. Поэтому необходима разработка подходов, позволяющих повысить эффективность и технологичность потенциальных БГБ. Эти подходы могут быть различными и должны базироваться на глубоком понимании биоэкологии, биохимии и физиологии продуцентов биопрепаратов для борьбы с сорняками в связи с их патогенными свойствами и толерантностью к внешним стресс-факторам, также на знании современных биотехнологических процессов [Glare et al., 2016].

С развитием биотехнологий у БГБ появляется надежда на более широкое внедрение. Разрабатываются способы получения вирулентного и стресс-толерантного инокулюма на основе микросклероциев и мицелия грибов-продуцентов БГБ. Исследуются оригинальные способы внесения БГБ, например, при помощи различных систем подкормки и орошения. Создаются препаративные формы и их композиции, позволяющие более длительно хранить биопрепараты и повышающие их биологическую эффективность [Hershenthorn et al., 2016]. Наконец, появляется много экспериментальных данных, демонстрирующих, что некоторые – правильно подобранные сочетания БГБ и ХГ могут демонстрировать заметный синергетический эффект, что предполагает создание новой парадигмы борьбы с трудноискоренимыми сорными растениями: перспективу разработки смесей не только различных ХГ с различными механизмами действия, но ХГ с БГБ. Например, глифосат прекрасно сочетается с некоторыми БГБ [Cook et al., 2009; Bouyette et al., 2014; Сокорнова и др., 2015], что значительно повышает эффективность и расширяет спектр действия этих смесей.

Биорациональные химические гербициды. Некоторых недостатков БГБ (неясные механизмы действия, зависимость активности от многих внешних факторов и других) могут быть лишены БХГ – препараты на основе природных фитотоксинов. Фитотоксические соединения – преимущественно вторичные метаболиты, которые образуют растения (эффект аллелопатии) и микроорганизмы (факторы патогенности) [Берестецкий, 1978, 2008]. Давно известно, что фитотоксическими свойствами обладают и некоторые первичные метаболиты, например, ряд аминокислот и жирных кислот [McCalla, Haskins, 1964]. К настоящему времени известны сотни природных фитотоксинов, и некоторые из них рассматриваются как природные гербициды или БХГ [Duke et al., 2014].

Биорациональные средства защиты растений, включая БХГ, можно условно разделить на 4 группы: 1) грубые экстракты, 2) индивидуальные природные соединения (или их смеси) различной степени очистки, 3) микробные препараты токсинного действия и 4) синтетические аналоги природных соединений.

В первую группу БХГ входят эфирные масла, экстракты, сидераты, отходы пищевого производства [Cai, Gu, 2016]. Так, в США в качестве БХГ используют кукурузный глютен, при разложении которого образуются фитотоксичные пептиды [Duke, Dayan, 2010]. Измельченная зеленая масса горчицы и соевая мука (в норме расхода около 1 и 4 т/га, соответственно) были эффективными для подавления сорняков в посевах шпината и брокколи в условиях органического земледелия [Shrestha et al., 2015]. Эфирные масла двух видов *Nepeta* (котовника) из сем. Яснотковые обладали ингибирующим действием на рост корней амброзии польнолистной [Dmitrović et al., 2015]. Сок полыни (*Artemisia absinthium*) и ромашки (*Matricaria chamomilla*) снижал биомассу мокрицы (*Stellaria media*) и накопление в сорняке хлорофилла [Кондратьев и др., 2016]. Созданы сорта овсяницы, которые являются суперпродуцентами тирозина, обладающим способностью к подавлению сорной растительности [Weston et al., 2005].

В качестве потенциальных БХГ рассматриваются растительные и микробные экстракты, обладающие фитотоксическими свойствами. Так, высокую гербицидную актив-

ность показал экстракт из бобового растения канавалия (*Canavalia ensiformis*) для подавления плюща (*Ipomoea grandifolia*) и коммелинии (*Commelina benghalensis*) в посевах сои [Mendez, Rezende, 2014]. Гербицидными свойствами обладали фенольные соединения (фумарпротоцетраровая и протоцетрариевая кислоты) из экстрактов таллома лишайника *Cladonia verticillaris* [Tigre et al., 2015]. Однако, если растения – это возобновляемый, но ограниченный ресурс, то получение микробных препаратов возможно при помощи ферментации и более экономично. В Бразилии проведен широкий скрининг микроорганизмов, обладающих фитотоксическими свойствами, отобрано несколько изолятов (виды *Diaporthe*, *Phoma*), для которых разработаны технологии получения и применения культурального фильтрата в качестве БХГ [Brun et al., 2016; Souza et al., 2015; 2016]. Высокую фитотоксичность в отношении заносного в Индии сорняка *Parthenium hysterophorus* показал культуральный фильтрат гриба *Alternaria macrospora* МКР1 [Kaur et al., 2015].

Известны несколько коммерческих и экспериментальных БХГ из второй группы биорациональных средств защиты растений. Для борьбы с сорными растениями на приусадебных участках в США применяют уксусную кислоту [Dayan, Duke, 2010]. Компания Magrone BioInnovations (США) разработала препарат Opportune, действующим веществом которого является бактериальный фитотоксин такстолин А. Компания Syngenta предлагает БХГ Katoun® на основе пеларгоновой кислоты для использования в органическом земледелии [Cordeau et al., 2016]. Тенуазоновая кислота, образуемая некоторыми грибами из рода *Alternaria*, запатентована китайскими учеными и изучается как природный гербицид с оригинальным механизмом действия [Chen et al., 2015]. Разработкой БХГ на основе грибного токсина занимается в настоящее время и новозеландская биотехнологическая компания Biotelliga [http://www.biotelliga.com/research_detail.htm?research_id=10].

В третью группу можно отнести такие препараты как Organo-Sol®, Bioprotec Herbicide™, Kona™, которые состоят из лактобактерий, образующих фитотоксичные молочную и лимонную кислоты. Эти препараты рекомендуют в Канаде для подавления клевера на газонах [Cordeau et al., 2016]. Для борьбы с паразитическим сорняком стригой в США разработан биогербицид на основе *Fusarium oxysporum*, который является суперпродуцентом тирозина – аминокислоты, обладающей способностью к ингибированию развития стриги. Препарат успешно опробован в Африке [Nzioki et al., 2016]. Ранее подобная работа была проведена для возбудителя фузариозного увядания конопля, который секретировал в ризосферу валин – аминокислоту, которая обладает фитотоксическими свойствами для этого растения [Tiougebaev et al., 2000]. Действие биогербицида на основе почвенной бактерии *Enterobacter* I-3 обусловлено ингибированием образования гиббереллинов и синтеза аминокислот, что вызывало замедление роста сорных растений [Radhakrishnan et al., 2016].

Структура и механизмы действия природных соединений и фитотоксинов – важный источник идей для создания новых гербицидов [Dayan, Duke, 2014; Duke, Dayan, 2015]. Так, «гербицид № 1» – глифосат – это аналог глицина, а некоторые современные гербициды, являющиеся ингибиторами 4-гидроксифенилпируват-диоксигеназы (например, мезотрион, сулкотрион, темботрион), – аналоги природных

соединений из группы трикетонов, выделенные из различных растений [Крамер et al., 2014; Duke, Dayan, 2015]. Некоторые штаммы бактерий *Streptomyces hygrosopicus* и *S. viridochromogenes* в культуре синтезируют биалофос – фитотоксин, который в растениях метаболизируется в более активное соединение – фосфинотрицин. Биалофос выпускается в Японии и имеет очень ограниченный рынок сбыта, однако синтетический фосфинотрицин успешно коммерциализован. В частности, под торговой маркой Баста его выпускает компания Bayer CropSciences [Duke, Dayan, 2011]. В настоящее время в связи с появлением устойчивых к гербицидам форм сорных растений активно изучаются механизмы действия различных природных фитотоксинов. Например, показано, что макроцидин А, образуемый грибом *Phoma macrostoma*, ингибирует синтез каротиноидов [Hubbard et al., 2015], тенуазоновая кислота – работу фотосистемы II растений [Chen et al., 2015]. Ведутся работы по разработке методов химического синтеза природных гербицидов и их аналогов. Так, из гриба *Stagonospora cirsii* в 2007 нами были выделен новый для науки фитотоксин – стагонолид А, являющийся сильным ингибитором роста корней [Yuzikhin et al., 2007], и уже в 2010 г. индийскими учеными был проведен полный синтез этого вещества [Prabhakar et al., 2010; Srihari et al., 2010]. При помощи биотехнологических подходов возможно повышение продуктивности штаммов по выходу гербицидных веществ [Полужтова и др., 2016; Sica et al., 2016].

Часто задаваемые вопросы. Одними из часто задаваемых вопросов специалистов по защите растений являются: 1) действительно ли безопасны БГБ и БХГ, 2) не перейдут ли патогены сорных растений на культуры, 3) где можно приобрести «альтернативные» гербициды в РФ?

- То, что вещество выделено из природного материала совершенно не означает, что оно безопасное. Так, известна следующая очень поучительная история. Из гриба *Alternaria alternata* был выделен фитотоксин (AAL-токсин), который был высокотоксичным и избирательным для некоторых пасленовых сорных растений. Он был запатентован как природный гербицид. Однако, когда была установлена его химическая структура, выяснилось, что она очень похожа на строение фумонизина – опасного микотоксина, образуемого некоторыми грибами рода *Fusarium*. Токсикологические исследования подтвердили опасения, что AAL-токсин, так же как и фумонизин, обладает канцерогенными свойствами [Hoagland et al., 2007]. Недавние токсикологические исследования фитотоксинов гриба *Ascochyta caulina*, смесь которых рассматривается как про-гербицид для борьбы с марью белой, показали, что они обладают высокой токсичностью в отношении дафнии, тогда как другие протестированные организмы (водоросли, рыбы, дождевые черви) были слабо чувствительны к ним [Fumagalli et al., 2013]. Поэтому перед регистрацией необходимо тщательное изучение любого препарата.

- Как было уже показано выше, узкая специфичность – достоинство классических агентов биоконтроля, и, как правило, – недостаток БГБ. Поэтому специализацию фитопатогенных микроорганизмов – продуцентов БГБ определяют очень тщательно на научно подобранном наборе различных видов растений. Наиболее скрупулезным изучение специфичности должно быть для классических агентов биоконтроля, которые могут обладать способностью к быстрому распространению. Для этого изучаются системати-

ка и филогения растений-хозяев, проводится тщательное тестирование патогенности на родине заносного растения и в стране интродукции в условиях карантин. Без такого тестирования ввоз патогенов в страну даже с целью борьбы с опасными сорняками абсолютно невозможен. Что касается «местных» патогенов, выделенных из локальных видов сорных растений, то у микологов и фитопатологов накопилось достаточно данных о болезнях культурных растений, что вместе с экспериментальной оценкой круга растений-хозяев микроорганизмов-кандидатов дает возможность достаточно уверенно говорить о безопасности для культур. Проще говоря, если за много тысяч лет патоген не перешел с сорняка на культуру, то вряд ли это произойдет и сейчас. При нарушении условий применения БГБ поражение защищаемых культур возможно, но при неправильном использовании ХГ может возникнуть такая же проблема. Еще раз важно отметить, что некоторые зарегистрированные биогербициды являются патогенами культурных растений.

- На последний вопрос с сожалением отвечаем, что в РФ ни БГБ, ни БХБ не зарегистрированы (за исключением препаратов 4 группы). Однако исследования по их разработке ведутся в последние 5–10 лет в ВИЗР, ВНИИФ и ВНИИБЗР. В ВИЗРе в настоящее время реализуется проект, поддержанный Российским научным фондом (проект № 16-16-00085), направленный на разработку микогербицидов против бодяка полевого, осота полевого и борщевика Сосновского.

Разнообразие средств – разнообразие решений. Хорошо известно, что при лечении заболеваний человека и животных в терапии редко применяется одно лекарство. Существуют также личные предпочтения врачей и пациентов в выборе методов лечения. Поэтому и в защите растений, включая борьбу с сорными растениями, желательнее иметь комплекс различных средств: от «народных» – до сильных химических. В различных странах уже предложены и разрабатываются БГБ и БХГ как дополнение или альтернатива ХГ в органическом земледелии. Не везде они

применяются широко. Например, в Европе биогербициды практически не используются, поскольку они, имея более низкую окупаемость и эффективность, проходят все этапы регистрации, что и химические пестициды [Czaja et al., 2015]. При этом недостаточно критериев оценки их качества. Еще многое предстоит сделать, чтобы биорациональные средства защиты растений стали полноправными продуктами на рынке [Glare et al., 2016]. Чтобы повысить эффективность борьбы с сорняками, можно создавать смеси БХГ, ХГ и БГБ. Например, экстракты растений часто действуют синергетически с эфирными маслами или химическими гербицидами так, что возможно снижение уровня применения последних [Faroq et al., 2011; Ihsan et al., 2015; O'Sullivan et al., 2015].

На рынке органического (приусадебного) сельского хозяйства РФ нет альтернативы нескольким ХГ (глифосат, клопиралид), расфасованным в мелкие упаковки. Между тем, это – приличный рынок, который стоит осваивать. С другой стороны, в качестве БХГ могут быть использованы отходы пищевой и фармацевтической промышленности, различных сельскохозяйственных и биотехнологических производств. Фитотоксические соединения могут быть обнаружены даже в отходах животноводства [Edney, Rizvi, 1996].

С развитием сельского хозяйства в РФ перспективность рынка биологических и биорациональных пестицидов будет расти. Создание научной базы и разработка технологий микробиологической борьбы с нежелательной растительностью должны помочь вывести БГБ на рынок и внедрить их в системы защиты растений. Такие исследования активно ведутся в ВИЗРе [Берестецкий и др., 2014, 2016; Гасич и др., 2012, 2016; Сокорнова, 2015]. Не только скрининг различных организмов на образование фитотоксических метаболитов [Берестецкий, 1978], но и современный метагеномный подход может быть использован для поиска гербицидных веществ, которые образуют плохо или вовсе не культивируемые в искусственных условиях организмы [Kao-Kniffin et al., 2013].

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 16-16-00085).

Библиографический список (References)

- Берестецкий А.О. Фитотоксические свойства почвенных микроорганизмов. / Берестецкий А.О. Л.: Изд-во ВНИИХСХМ, 1978.-С. 27-34
- Берестецкий А.О. Проблемы и достижения в области биологической борьбы с сорными растениями при помощи фитопатогенных грибов / Берестецкий А.О. // Микол. и фитопатол. 2004. Т. 38, № 5. С. 1-15.
- Берестецкий А.О. Фитотоксины грибов: от фундаментальных исследований – к практическому использованию (Обзор) / Берестецкий А.О. // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. т. 44, № 5, с. 501–514.
- Берестецкий А.О. Этапы исследований при разработке классической и биогербицидной стратегий биологической борьбы с сорными растениями / Берестецкий А.О. // Сельскохозяйственная биология. 1997. N 1. С. 3-15.
- Берестецкий А.О. Штамм гриба *Stagonospora cirsiis* Davis 1.41, обладающий гербицидной активностью против бодяка полевого / Берестецкий А.О., Кашина С.А., Сокорнова С.В. // 2014. Патент РФ № 2515899.
- Берестецкий А.О. Штамм *Rhizoglyphus sp.* - продуцент феосфериды А / Берестецкий А.О., Полуэктова Е.В., Сокорнова С.В., Токарев Ю.С. // 2016. Патент РФ № 2596928.
- Берестецкий А.О., Сокорнова С.В. Получение и хранение биопестицидов на основе микромицетов / Берестецкий А.О., Сокорнова С.В. // Микология и фитопатология. 2009. Том 43. Вып. 6. С. 1–17.
- Гасич Е. Л. Штамм гриба *Phoma ligulicola* var. *inoxidabilis* Voerema, обладающий микогербицидной активностью против полевой обыкновенной / Гасич Е. Л., Хлопунова Л. Б., Ганнибал Ф. Б., Казарцев И. А. // 2016. Патент РФ № 2588470.
- Гасич Е.Л. Штамм гриба *Phoma complanata* (Tode) Desm. 1.40 (ВИЗР), обладающий микогербицидной активностью против борщевика Сосновского / Гасич Е.Л., Хлопунова Л.Б., Берестецкий А.О., Сокорнова С.В. // 2012. Патент РФ № 2439141.
- Говоров Д. Н. Применение пестицидов. Год 2014-й / Говоров Д. Н., Живых А. В., Шабельникова А. А. // Защита и карантин растений, 2015, N 4. С.12-13.
- Есипенко Л. П. Приемы уничтожения амброзии полыннолистной в посевах подсолнечника на территории Краснодарского края / Есипенко Л. П., Савва А. П., Тележенко Т. Н. // Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU. 2016. №121. <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/69.pdf>
- Кондратьев М.Н. Потенциальные биогербицидные свойства некоторых лекарственных растений / Кондратьев М.Н., Ларикина Ю.С., Давыдова А.Н. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. Т. 19, N 6. С. 62–67
- Полуэктова Е.В. Оптимизация условий культивирования гриба *Rhizoglyphus sp.* ВИЗР 1.46 для получения фитотоксического метаболита / Полуэктова Е.В., Большакова К.П., Берестецкий А.О. // Вестник защиты растений. 2016. Т. 89, N 3. С. 134–135
- Резник С.Я. Факторы, определяющие границы ареалов и плотность популяций амброзии полыннолистной *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) и амброзиевого листоеда *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera, Chrysomelidae) / Резник С.Я. // Вестник защиты растений. 2009, N 2. С. 20-28.
- Рудаков О. Л. Биометод уничтожения повилыки / Рудаков О. Л. // Защита растений от вредителей и болезней. 1961. № 6. С.23-24

- Сокорнова С.В. Способ борьбы с нежелательной травянистой растительностью класса Dicotyledones / Сокорнова С.В., Берестецкий А.О., Гасич Е.Л., Хлопунова Л.Б. // 2015. Патент РФ № 2543665.
- Addressing the Needs of Classical Biological Control Programs. [Электронный ресурс]: U.S. Department of the Interior. URL: https://www.doi.gov/sites/doi.gov/files/uploads/isac_biocontrols2016_white_paper.pdf (дата обращения: 05.03.2017).
- Aktar W., D. Sengupta, D., Chowdhury A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards // *Interdisc. Toxicol.* 2009. Vol. 2, N 1. P. 1–12.
- Ash G.J. The science, art and business of successful bioherbicides // *Biol. Control.* 2010. Vol. 52. P. 230–240
- Bailey K.L. The bioherbicide approach to weed control using plant pathogens // In: *Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspective.* In: Abrol, Dharam P. (Ed.), Elsevier (Academic Press), 2014. P. 245–266.
- Bakry F. A., Ismail S. M., Abd El-Atti M. S. Glyphosate herbicide induces genotoxic effect and physiological disturbances in *Bulinus truncatus* snails // *Pesticide Biochem. Physiol.* 2015. Vol. 123. P. 24–30.
- Bellgard S. E., Johnson V. W., Than D. J., Anand N., Winks C. J., Ezeta G., Dodd S. L. Use of the silverleaf fungus *Chondrostereum purpureum* for biological control of stump-sprouting, riparian weedy tree species in New Zealand // *Australasian Plant Pathol.* 2014. Vol. 43. P. 321–326
- Berner D., Smallwood E., Cavin C., Lagopodi A., Kashefi J., Kolomiets T., Pankratova L., Mukhina Z., Cripps M., Bourdôt G. Successful establishment of epiphytotic of *Puccinia punctiformis* for biological control of *Cirsium arvense* // *Biol. Control.* 2013. Vol. 67. 350–360
- Bio-Control Products for 2016. [Электронный ресурс]: Biological control of weeds. URL: <http://www.bio-control.com/products.php> (дата обращения: 05.03.2017).
- Воуоу О., Сок М., Хансен С.О. и другие. Практическое пособие по борьбе с борщевиками. [Электронный ресурс]: Giant Alien. URL: http://www.giant-alien.dk/pdf/Russian%20manual_web.pdf (дата обращения: 05.03.2017).
- Boyette C. D., Hoagland R.E., Weaver M.A., Stetina, K. C. Interaction of the Bioherbicide *Myrothecium verrucaria* and Glyphosate for Kudzu Control // *Am. J. Plant Sci.* 2014. Vol. 5. P. 3943–3956. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.526413>
- Brun T., Rabuske J. E., Todero I., Almeida T. C., Junior J. J. D., Ariotti G., Confortin T., Arnemann J. A., Kuhn R. C., Guedes J. V. C., Mazutti M. A. Production of bioherbicide by *Phoma* sp. in a stirred-tank bioreactor // *3 Biotech.* 2016. Vol. 6, N 2. 230. doi: 10.1007/s13205-016-0557-9
- Cai X., Gu M. Bioherbicides in organic horticulture // *Horticulture.* 2016. Vol. 2. N 2. Paper 3.
- Cantrell C.L., Dayan F.E., Duke S.O. Natural products as sources for new pesticides // *J. Nat. Prod.* 2012. Vol. 75, N 6. P. 1231–1242.
- Chen S., Kang Y., Zhang M., Wang X., Strasser R. J., Zhou B., Qiang S. Differential sensitivity to the potential bioherbicide tenuazonic acid probed by the JIP-test based on fast chlorophyll fluorescence kinetics // *Environ. Exp. Bot.* 2015. Vol. 112. P. 1–15.
- Clewley G. D., Eschen R., Shaw R. H. Wright D. J. The effectiveness of classical biological control of invasive plants // *J. Applied Ecology.* 2012. Vol. 49. P. 1287–1295.
- Cook J. C., Charudattan R., Zimmerman T. W., Roskopf E. N., Stall W. M., MacDonald G. E. Effects of *Alternaria destruens*, Glyphosate, and Ammonium sulfate individually and integrated for control of dodder (*Cuscuta pentagona*) // *Weed Technol.* 2009. Vol. 23. P. 550–555
- Cordeau S., Triolet M., Wayman S., Steinberg C., Guillemin J.-P. Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management // *Crop Protection.* 2016. Vol. 87. P. 44–49.
- Cressey D. Widely used herbicide linked to cancer // *Nature.* 2015. doi:10.1038/nature.2015.17181.
- Czaja K., Goralczyk K., Strucinski P., Hernik A., Korcz W., Minorczyk M., Łyczewska M., Ludwicki J. K. Biopesticides – towards increased consumer safety in the European Union // *Pest Manag. Sci.* 2015. Vol. 71. P. 3–6
- Dayan F. E., Duke S. O. Natural products for weed management in organic farming in the USA // *Outlooks on Pest Management.* 2010. August. P. 156–160.
- Dayan F.E., Duke S.O. Natural compounds as next-generation herbicides // *Plant Physiol.* 2014. Vol. 166, N 3. P. 1090–105.
- Dmitrović S., Perišić M., Stojić A., Živković S., Boljević J., Nestorović Živković J., Aničić N., Ristić M., Mišić D. Essential oils of two Nepeta species inhibit growth and induce oxidative stress in ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) shoots in vitro // *Acta Physiol. Plant.* 2015. Vol. 37. 64. doi:10.1007/s11738-015-1810-2
- Duke S. O., Dayan F. E. Discovery of new herbicide modes of action with natural phytotoxins // In *Discovery and Synthesis of Crop Protection Products*; Maiefisch, et al.; ACS Symposium Series; Washington, DC: American Chemical Society. 2015. P. 79–92.
- Duke S. O., Dayan F. E. Modes of action of microbially-produced phytotoxins // *Toxins.* 2011. Vol. 3. P. 1038–1064.
- Duke S. O., Owens D. K., Dayan F. E. The Growing Need for Biochemical Bioherbicides // In: *Biopesticides: State of the Art and Future Opportunities* ACS Symposium Series, American Chemical Society. 2014. Vol. 117. P. 31–43
- Edney N. A., Rizvi M. Phytotoxicity of fatty acids present in dairy and hog manure // *Journal of Environmental Science and Health, Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* Volume 31- Issue 2, 1996 Pages 269–281
- Esipenko L.P., Zamotajlov A.S. Introduction of phytophagous insects for biological suppression of Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in Russia: Retrospective overview. *Vestnik zashchity rastenii.* 2014. N 2. P. 43–46.
- Evans H. C. Biological control of weeds with fungi // In: *The Mycota. Vol. XI. Agricultural Applications.* F. Kempken (Ed.) Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2013. P. 145–183.
- Farooq M., Jabran K., Cheema Z. A., Wahid A., Siddique K.H.M. The role of allelopathy in agricultural pest management // *Pest Manag. Sci.* 2011. Vol. 67. P. 493–506
- Fumagalli P., Andolfi A., Avolio F., Boari A., Cimmino A., Finizio A. Ecotoxicological characterisation of a mycoherbicide mixture isolated from the fungus *Ascochyta caulina* // *Pest Manag. Sci.* 2013. Vol. 69. P. 850–856
- Government funding announced for weed biocontrol R&D project. [Электронный ресурс]: Rural Industries. URL: <http://www.rircd.gov.au/news/2016/04/15/government-funding-announced-for-weed-biocontrol-r-d-project> (дата обращения: 05.03.2017).
- Glare T. R., Gwynn R. L., Moran-Diez M. E. Development of Biopesticides and Future Opportunities // In: Travis R. Glare and Maria E. Moran-Diez (eds.), *Microbial-Based Biopesticides: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology*, vol. 1477, New York: Springer Science+Business Media. 2016. P. 211–221.
- Harding D.P., Raizada M.N. Controlling weeds with fungi, bacteria and viruses: a review. *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. 659. doi: 10.3389/fpls.2015.00659
- Hershenhorn J., Casella F., Vurro M. Weed biocontrol with fungi: past, present and future // *Biocontrol Sci. Technol.* 2016. Vol. 26, N 10. P. 1313–1328
- Hoagland R. E., Boyette C. D., Weaver M. A., Abbas H. K. Bioherbicides: research and risks // *Toxin Rev.* 2007. Vol. 26. P. 313–342
- Hubbard M., Hynes R.K., Bailey K.L. Impact of macrocicidins, produced by *Phoma macrostoma*, on carotenoid profiles of plants // *Biol. Control* 2015. Vol. 89. P. 11–22
- Ihsan M. Z., Khaliq A., Mahmood A., Naeem M., El-Nakhlawy F., Alghabari F. Field evaluation of allelopathic plant extracts alongside herbicides on weed management indices and weed–crop regression analysis in maize // *Weed Biol. Manag.* 2015. Vol. 15. P. 78–86
- Kao-Kniffin J., Carver S., DiTommaso A. Advancing weed management strategies using metagenomic techniques // *Weed Science.* Vol. 61. P. 171–184
- Kaur M., Aggarwal N. K. & Dhiman R. Screening of phytotoxicity of *Alternaria macrospora* MKP1 against *Parthenium hysterophorus* L. // *Arch. Phytopathol. Plant Protection.* 2015. Vol. 48. P. 890–897
- Kraehmer H., van Almsick A., Beffa R., Dietrich H., Eckes P., Hacker E., Hain R., Strek H. J., Stuebler H., Willms L. Herbicides as Weed Control Agents: State of the Art: II. Recent Achievements // *Plant Physiol.* 2014. Vol. 166 1132–1148.
- MA500 Biological Herbicide. [Электронный ресурс]: Biotelliga. URL: http://www.biotelliga.com/research_detail.htm?research_id=10 (дата обращения: 05.03.2017).
- McCalla T. M., Haskins F. A. Phytotoxic substances from soil microorganisms and crop residues // *Bacteriol. Rev.* 1964 Vol. 28, No. 2, pp. 181–207
- McFadyen R. E. C. Biological control of weeds // *Ann. Rev. Entomology.* 1998. Vol. 43. P. 369–393
- Mendes I. D. S., Rezende M. O. O. Assessment of the allelopathic effect of leaf and seed extracts of *Canavalia ensiformis* as postemergent bioherbicides: A green alternative for sustainable agriculture // *J. Environmental Sci. Health. Part B.* 2014. Vol. 49, N 5. P. 374–380
- Müller-Schaerer H., Lommen S T E, Rossinelli M, Bonini M, Boriani M, Bosio G & Schaffner U (2014) *Ophraella communata*, the ragweed leaf beetle, has successfully landed in Europe: fortunate coincidence or threat? // *Weed Res.* Vol. 54, N 2. P. 109–119

- Nzioki H. S., Oyosi F., Morris C. E., Kaya E., Pilgeram A. L., Baker C. S., Sands D. C. Biocontrol on a toothpick: a readily deployable and inexpensive method for smallholder farmers // *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7. 1121. doi: 10.3389/fpls.2016.01121
- O'Sullivan J. & Van Acker R. & Grohs R., Riddle R. Improved herbicide efficacy for organically grown vegetables // *Org. Agr.* 2015. Vol. 5 P. 315–322
- Piyaboon O., Pawongrat R., Unartngam J., Chinawong S., Unartngam A. Pathogenicity, host range and activities of a secondary metabolite and enzyme from *Myrothecium roridum* on water hyacinth from Thailand // *Weed Biol. Management.* 2016. Vol. 16, N 3. P. 132–144.
- Prabhakar P., Rajaram S., Reddy D.K., Shekar V., Venkateswarlu Y. Total synthesis of the phytotoxic stagonolides A and B // *Tetrahedron: Asymmetry.* 2010. T. 21. N 2. C. 216–221.
- Quarles W. Alternative herbicides in turfgrass and organic agriculture // *IPM Practitioner.* 2010. Vol. 32. N 5/6. P. 1–8.
- Radhakrishnana R., Park J.-M., Lee I.-J. Enterobacter sp. I-3, a bio-herbicide inhibits gibberellins biosynthetic pathway and regulates abscisic acid and amino acids synthesis to control plant growth // *Microbiol. Res.* 2016. Vol. 193. P. 132–139
- Shaner D. L., Beckie H. J. The future for weed control and technology // *Pest Manag. Sci.* 2014. Vol. 70. P. 1329–1339
- Shaw R., Schaffner U., Marchante E. The regulation of biological control of weeds in Europe – an evolving landscape // *EPPO Bull.* 2016. Vol. 46. P. 254–258.
- Shrestha A., Rodriguez A., Pasakdee S., Bañuelos G. Comparative Efficacy of White Mustard (*Sinapis alba* L.) and Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Seed Meals as Bioherbicides in Organic Broccoli (*Brassica oleracea* Var. *Botrytis*) and Spinach (*Spinacea oleracea*) Production // *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 2015. Vol. 46, N 1. P. 33–46
- Sica V. P., Figueroa M., Raja H. A., El-Elimat T., Darveaux B. A., Pearce C. J., Oberlies N. H. Optimizing production and evaluating biosynthesis in situ of a herbicidal compound, mevalocidin, from *Coniolaria* sp. // *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 2016. Vol. 43. P. 1149–1157
- SMARTER. [Электронный ресурс]: Sustainable management of *Ambrosia artemisiifolia* in Europe. URL: ragweed.eu (дата обращения: 05.03.2017).
- Smith J., Wherley B., Reynolds C., White R., Senseman S., Falk S. Weed control spectrum and turfgrass tolerance to bioherbicide *Phoma macrostoma* // *Int. J. Pest Management.* 2015. Vol. 61, N 2. P. 91–98
- Souza A. R. C., Baldoni D. B., Lima J., Porto V., Marcuz C., Ferraz R. C., Kuhn R. C., Jacques R. J.S., Guedes J. V.C., Mazutti M.A. Bioherbicide production by *Diaporthe* sp. isolated from the Brazilian Pampa biome // *Biocatalysis Agric. Biotechnol.* 2015. Vol. 4. P. 575–578.
- Souza de A. R. C., Baldoni D. B., Lima J., Porto V., Marcuz C., Machado C., Ferraz R. C., Kuhn R.C., Jacques R. J.S., Guedes J. V.C., Mazutti M. A. Selection, isolation, and identification of fungi for bioherbicide production // *Braz. J. Microbiol.* 2016. doi: 10.1016/j.bjm.2016.09.004
- Srihari P., Rao G.M., Rao R.S., Yadav J.S. A Stereoselective aldol approach for the total synthesis of herbarumin I and stagonolide A // *Synthesis.* 2010. N 14. C. 2407–2412.
- Tigre R.C., Pereira E.C., da Silva N.H., Vicente C., Legaz M.E. Potential phenolic bioherbicides from *Cladonia verticillaris* produce ultrastructural changes in *Lactuca sativa* seedlings // *South African J. Botany.* 2015. Vol. 98. P. 16–25
- Tiourebaev K. S., Nelson S., Zidack N. K., Kaleyva G. T., Pilgeram A. L., T Anderson. W., Sands D. C. Amino Acid Excretion Enhances Virulence of Bioherbicides // *Proceedings of the X International Symposium on Biological Control of Weeds 4-14 July 1999, Montana State University, Bozeman, Montana, USA Neal R. Spencer [ed.].* 2000. P. 295–299 <https://www.invasive.org/publications/xsymposium/proceed/04pg295.pdf>
- Wapshere A.J. Biological control of weeds // In: *Biology and ecology of weeds* (W. Holzner and N. Numata, eds.) The Hague: Dr. W. Junk Publishers. 1982. P. 47–56
- Weaver M.A., Boyette C. D. & Hoagland R. E. Management of kudzu by the bioherbicide, *Myrothecium verrucaria*, herbicides and integrated control programmes // *Biocontrol Sci. Technol.* 2016. Vol. 26, N 1. P. 136–140
- Weed Control: Parkinsonia. [Электронный ресурс]: Bioherbicides Australia. URL: <http://www.bioherbicides.com.au/bha-weed-control/parkinsonia> (дата обращения: 05.03.2017).
- Weston L. A., Bertin C., Schroeder F. Bioherbicide from *Festuca* spp. // *US Patent N 8461085 B2.* 2005.
- Yan D., Zhang Y., Liu L., Yan H. Pesticide exposure and risk of Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis // *Scientific Reports.* 2016. Vol. 6. 32222. doi:10.1038/srep32222.
- Yuzikhin O., Mitina G., Berestetskiy A. Herbicidal potential of stagonolide, a new phytotoxic nonenolide from *Stagonospora cirsi* // *J. Agric. Food Chem.* 2007. Vol. 55. N 19. P. 7707–7711.

Translation of Russian References

- Berestetskiy O.A. Phytotoxic properties of soil microorganisms. Leningrad: VNIISKHM, 1978. P. 27–34. (In Russian).
- Berestetskiy A.O. Problems and advances in biological control of weeds with plant pathogenic fungi. *Mikologiya i Fitopatologiya.* 2004. V. 38. N 5. P. 1–15. (In Russian).
- Berestetskiy A.O. A review of fungal phytotoxins: From basic studies to practical use. *Applied Biochemistry and Microbiology* 2008. Vol. 44, N 5. P. 453–465. (English translation).
- Berestetskiy A.O. Steps of investigations for development classical and bioherbicidal strategies of biological control of weeds. *Selskokhozyaistvennaya biologiya.* 1997. N 1. P. 3–15. (In Russian).
- Berestetskiy A.O., Kashina S.A., Sokornova S.V. Strain of fungus *Stagonospora cirsi* Davis 1.42 having herbicidal activity against Canada thistle. RU Patent N 2515899. (In Russian).
- Berestetskiy A.O., Poluektova E.V., Sokornova S.V., Tokarev Yu.A. Strain of *Paraphoma* sp., a producer of phaeosphaeride A. RU patent № 2596928. (In Russian).
- Berestetskiy A.O., Sokornova S.V. Production and stabilization of mycopenicidines. *Mikologiya i Fitopatologiya.* 2009. V. 43. N 6. P. 1–17. (In Russian).
- Gasich E. L., Khlopunova L.B., Gannbal Ph.B., Kazartsev I.A. Strain of fungus *Phoma ligulicola* var. *inoxidabilis* Boerema, having mycoherbicidal activity against *Artemisia vulgaris*. RU patent N 2588470. (In Russian).
- Gasich E. L., Khlopunova L.B., Berestetskiy A.O., Sokornova S.V. Strain of fungus *Phoma complanata* (Tode) Desm. 1.40 having mycoherbicidal activity against giant hogweed. RU patent N 2439141. (In Russian).
- Govorov D.N., Zhivykh A.V., Shabelnikova A.A. Use of pesticides. Year 2014. Zashchita i karantin rasteniy. 2015. N 4. P.12–13. (In Russian).
- Esipenko L.P., Savva A.P., Teleshchenko T.N. Methods of destroying common ragweed in sunflower crops in the Krasnodar region. *Scientific Journal of KubSAU.* 2016. N121. [Http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/69.pdf](http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/69.pdf). (In Russian).
- Kondratyev M.N., Larikova Yu.S., Davydova A.N. Potential bioherbicide properties of some medicinal plants. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoi i farmatsevticheskoi khimii.* 2016. V. 19. N 6. P. 62–67. (In Russian).
- Poluektova E.V., Bolshakova K.P., Berestetskiy A.O. Optimization of culture conditions for production of phytotoxic metabolite from *Paraphoma* sp. *VIZR* 1.46. *Vestnik zashchity rasteniy.* 2016. N 3. P. 134–135 (In Russian).
- Reznik S.Ya. Factors determining geographic ranges and population densities of common ragweed *Ambrosia artemisiifolia* L. (Asteraceae) and ragweed leaf beetle *Zygogramma suturalis* F. (Coleoptera, Chrysomelidae). *Vestnik zashchity rasteniy.* N 2. P. 20–28.
- Rudakov O. L. Biological method for destroying dodder weed. *Zashchita rasteniy ot vreditel'ey i bolezney.* 1961. N 6. P. 23–24 (In Russian).
- Sokornova S.V., Berestetskiy A.O., Gasich E.L., Khlopunova L.B. A technique for control of undesirable vegetation belonging to the class Dicotyledones. Patent RU N 2543665. (In Russian).

Plant Protection News, 2017, 1(91), p. 5–12

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL AND BIORATIONAL HERBICIDES

A.O. Berestetskiy

All-Russian Institute of Plant Protection, St.Petersburg, Russia

Despite the “green” revolution connected with appearance and use of chemical herbicides, weeds and undesirable vegetation (invasive species, narcotic plants) remain a serious problem for plant industry. This problem is related with herbicide-resistant forms of weeds and restrictions for use of chemical pesticides in organic agriculture and residential zones. Microbial and biorational herbicides are developed to solve the problem. In this review based mainly on the literature published between 2010

and 2017, problems caused with intensive application of chemical herbicides, advances in classical strategy of biological control of weeds, modern commercial and prospective biological and biorational herbicides are discussed.

Key words: weed; invasive flora; biocontrol; herbicide; bioherbicide; biorational herbicide.

Сведения об авторе

Всероссийский НИИ защиты растений, шоссе Подбельского, 3, 196608
Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация

Берестецкий Александр Олегович. Заведующий лабораторией
фитотоксикологии и биотехнологии, кандидат биологических наук,
e-mail: aberestetskiy@vizr.spb.ru

Information about the author

All-Russian Institute of Plant Protection, Podbelskogo shosse, 3, 196608,
St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation

Berestetskiy Aleksandr Olegovich, Head of Laboratory of phytotoxicology
and biotechnology, PhD in Biology,
e-mail: aberestetskiy@vizr.spb.ru