

## Адаптационные резервы высшего растения и почвенной альгофлоры при действии пестицидов

© 2011. А. В. Помелов<sup>1</sup>, к.б.н., доцент, Г. И. Березин<sup>2</sup>, аспирант,  
Л. И. Домрачева<sup>1,3</sup>, д.б.н., профессор,

<sup>1</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия,

<sup>2</sup>Вятский государственный гуманитарный университет,

<sup>3</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
e-mail: nm-flora@rambler.ru

В динамике исследована реакция ячменя, а также водорослей и цианобактерий на фунгицид дивиденд стар, инсектицид круйзер и их смесь. Показано, что применение данных препаратов приводит к повышению продуктивности и урожайности высшего растения, а также к ускорению протекания альгосукцессий в почве.

The dynamics of barley, algae and cyanobacteria reaction on fungicide dividend star, insecticide kruyzer and a mixture thereof was investigated. It is shown that the use of these drugs leads to increasing productivity and yield of higher plants, as well as to acceleration of the flow of algo-successions in the soil.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, ячмень, пестициды

Key words: algae, cyanobacteria, barley, pesticides

Широкое применение пестицидов в сельском хозяйстве по-прежнему остаётся действенной мерой защиты растений. В мировом арсенале химических средств защиты растений насчитывается более 5000 препаратов различного назначения. Потребление их ежегодно возрастает на 1–2,5%, а в отдельных странах (Япония, Франция, Италия, Великобритания, Дания) этот прирост превышает 10%. Основная часть мирового объёма пестицидов (91,2%) используется в 20 наиболее развитых странах мира, в том числе в США (23,6%), Японии (14,7%), Франции (10,1%), России (5,4%). В России из общего количества применяемых пестицидов на долю гербицидов приходится 53%, инсектицидов – 32%, фунгицидов – 10%, оставшиеся 5% составляют дефолианты, акарициды, регуляторы роста и др. [1].

Использование пестицидов всегда связано с их побочными действиями на компоненты окружающей среды: накопление в почве и воде, угнетение полезных организмов, биоаккумуляция в трофических цепях и т. д. При этом нежелательные изменения в функционировании организмов и биосистем могут проявляться на различных уровнях – морфологическом, физиолого-биохимическом, генетическом. Соответственно этому строится система мониторинговых исследований поведения пестицидов в биоценозах. В частности, в 70–80-е годы прошлого века широко изучалось дей-

ствие пестицидов на почвенную микробиоту. При этом был получен во многом противоречивый материал о результатах подобного воздействия. Так, было показано, что применение используемых в то время агрохимикатов приводит к снижению видового разнообразия водорослей [2, 3]. Некоторые виды вообще «выбиваются» из альгоценозов. Доминирующее положение занимают 2–3 вида, которые практически целиком обеспечивают продуктивность водорослей. Образуются новые сообщества с низким уровнем видового разнообразия, в которых отсутствуют азотфиксирующие цианобактерии (ЦБ).

Поэтому оказалась заманчивой перспектива использования фототрофных микроорганизмов для определения токсичности почвы, загрязнённой пестицидами. С этой целью использовали чистые культуры различных видов водорослей и цианобактерий и сравнивали интенсивность их развития в контрольном варианте и при действии пестицидов, например, таких, как симм-триазины, производные фенилмочевины, нитрофенолы, феноксикислоты, алифатические кислоты, ТМТД, карбатион и др. Однако эти попытки не были очень успешными, так как, во-первых, реакция чистых культур и микробных сообществ различалась и, во-вторых, степень воспроизводимости полученных результатов была очень мала [2, 4].

В настоящее время в сельском хозяйстве используются новые поколения пестицидов. Параллельно проводятся исследования, посвящённые поиску микроорганизмов, разрушающих данные препараты, обработке биологических методов оценки влияния пестицидов на окружающую среду, а также традиционные работы в русле изучения влияния пестицидов на почвенную микрофлору. Например, в обзоре [5] на основе анализа литературных источников, выпущенных за последние 50 лет, показано, что трансформация пестицидов может происходить путём химического разложения и биodeградации. Важная роль в биodeградации пестицидов принадлежит почвенным микроорганизмам, которые реализуют множество путей катаболизма на основе генетически закреплённых механизмов. Чаще всего метаболические процессы происходят аналогично разложению соединений, составляющих органическое вещество почвы. Среди микроорганизмов, наиболее активно осуществляющих деградацию подобных ксенобиотиков, авторы обзора выделяют бактерии рр. *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*. Поэтому в перспективе на основе природных и рекомбинантных штаммов подобных бактерий возможно создание биопрепаратов для применения в целях ремедиации среды, загрязнённой токсичными химическими веществами.

Тестирование токсичности различных пестицидов проводят, используя как отдельные организмы, например, ЦБ *Anabaena cylindrica* [6] и *Nostoc paludosum* [7], так и функциональную реакцию микробного сообщества в целом – по показателям микробной биомассы, базального дыхания, микробного метаболического коэффициента и функционального разнообразия [8].

Продолжаются работы, исследующие влияние пестицидов на группы почвенных микроорганизмов. Показано, в частности, что при использовании фосфорсодержащих гербицидов в зависимости от концентрации и длительности действия наблюдалось и стимулирующее и ингибирующее действие на популяции микроорганизмов. Токсичность гербицида может приводить к сдвигу в микробиологическом сообществе в направлении существенной утраты функционального разнообразия [9, 10].

Специфика применения пестицидов такова, что систематически происходит их обновление и исключение из списка разрешённых к применению на территории России определённых препаратов. Поэтому постоянно про-

водятся испытания в различных регионах и на разных сельскохозяйственных культурах пестицидов, которые можно рекомендовать впоследствии как наиболее оптимальные для данной территории.

Так, например, в Кировской области необходимость применения инсектицидов обусловлена тем, что заселённость ячменя личинками шведской мухи составляет в среднем 70% обследованных площадей, хлебными полосатыми блошками – 100%. Протравливание семян фунгицидами является наиболее простым и относительно дешёвым способом применения фунгицидов. Через семена передается от 30 до 60% болезней зерновых культур. С помощью обработки семян биологически активными веществами можно защитить растения от семенной, почвенной и частично от аэрогенной инфекции. Однако одностороннее применение препаратов ведёт к нарастанию в посевах яровых зерновых культур ряда опасных болезней. Поэтому одним из резервов снижения затрат является применение баковых смесей пестицидов. Использование баковых смесей позволяет одновременно уничтожить сорняки, болезни и вредителей. Баковые смеси позволяют уменьшить норму расхода препарата, расширить спектр действия и повысить эффективность фунгицидов против отдельных видов фитопатогенов за счёт синергического действия и, что очень важно, снизить скорость возникновения резистентности у вредных организмов к применяемым пестицидам.

Цель данной работы – изучить в динамике в полевых условиях действие фунгицида дивиденд стар и инсектицида круйзер и их баковой смеси на состояние ярового ячменя и развитие почвенных водорослей и цианобактерий.

### Объекты и методы

Полевые исследования проводились на опытном поле Вятской ГСХА в 2010 году на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в центральном севообороте. Агротехника была общепринятой для условий Кировской области. Осенью проводилась зяблевая вспашка, весной – ранневесеннее боронование, культивация в два следа. Перед культивацией вносили по 80 кг д.в./га азота, фосфора и калия.

Действие пестицидов изучали в посевах ярового ячменя сорта Эльф. Сорт среднеспелый, высокоурожайный (до 8 т/га), обладает широкой экологической пластичностью

в сочетании с высоким потенциалом продуктивности.

Обработка семян проводилась за один день до посева. Опыт был заложен в 4 вариантах: 1. Контроль; 2. Дивиденд стар, 1 л/т; 3. Круйзер, 0,5 л/т; 4. Дивиденд стар, 1 л/т + Круйзер, 0,5 л/т. Расход рабочей жидкости во всех вариантах – 10 л/т.

В контрольном варианте семена увлажнялись водой из расчёта 10 л/т.

Ручной посев проводился 13 мая. Площадь делянки составляла 1 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная, расположение делянок систематическое. Уборка и обмолот ячменя проводились вручную.

Фитопатологический анализ на заражённость семян ячменя поверхностной и внутренней инфекцией определяли методом влажной камеры с применением рулонов по общепринятому методу.

В ходе полевого опыта определяли распространённость корневых гнилей и пятнистостей листьев, повреждённость растений ячменя вредителями, биологическую эффективность препаратов и урожайность ячменя.

Почвенные образцы на альгологический анализ отбирали 4 раза за вегетационный сезон по общепринятым микробиологическим методикам с глубины 0–5 см в ризосферной зоне по фазам развития ячменя и в те же сроки.

Для количественного учёта водорослей и цианобактерий (ЦБ) использовали прямой микроскопический метод. При подсчёте клеток дифференцировали следующие группы фототрофов: одноклеточные зелёные и жёлто-зелёные водоросли, нитчатые зелёные и жёлто-зелёные водоросли, диатомеи и ЦБ [11].

Применяемые в работе препараты – это пестициды нового поколения. Дивиденд стар является двухкомпонентным системным фунгицидом – протравителем семян (30 г/л дифеноконазола + 6,3 г/л ципроконазола) из хими-

ческого класса триазолы. Данный препарат обладает широким спектром действия против комплекса болезней зерновых культур.

Круйзер – системный инсектицид из химического класса неоникотиноиды. На ячмене применяется против внутривенных мух, блошек. Действующее вещество тиаметоксам благоприятно влияет на растения, снижает отрицательное действие стрессовых факторов (засуха, низкий уровень рН, тепловые стрессы, повреждение вредителями) на растения.

Год проведения исследований – 2010 – был аномально жарким и сухим.

### Результаты

**Влияние пестицидов на высшее растение, эпифитную, паразитическую микрофлору и вредителей.** В предварительных лабораторных опытах была доказана обоснованность применения данных препаратов против инфекций (табл. 1).

Семена, взятые для посева в 2010 г., были в сильной степени заражены возбудителем гельминтоспориозной корневой гнили (68,0%) и в слабой степени семена были заражены фузариозом (6,0%) и альтернариозом (2,0%). Наиболее эффективным против возбудителей гельминтоспориозной и фузариозной гнили на семенах был дивиденд стар, как в чистом виде, так и в баковой смеси.

В ходе полевых исследований была проведена оценка распространения корневых гнилей в период вегетации ячменя (табл. 2).

В условиях сухой, жаркой погоды эффективность протравителя дивиденд стар как в чистом виде, так и в баковой смеси составила 100%.

Исследование активности вредителей показало, что они наиболее опасны в фазу всходов – кущение. Поэтому учёт вредителей проводился именно в конце фазы кущения – начале выхода в трубку. Отмечалось сильное по-

Таблица 1  
Повреждённость растений ячменя вредителями и эффективность препаратов

Вариант	Повреждённость растений вредителями, %		Биологическая эффективность, %	
	шведская муха	хлебные полосатые блошки	шведская муха	хлебные полосатые блошки
Контроль	32,7	86,5	–	–
Дивиденд стар	25,0	88,5	23,5	-2,3
Круйзер	6,0	62,0	81,7	28,3
Дивиденд стар+круйзер	10,5	68,4	67,9	20,9

Таблица 2

Влияние препаратов на корневые гнили ячменя в период вегетации

Вариант	Фаза начала выхода в трубку		Фаза начала колошения		Фаза полной спелости	
	Р, %	С, %	Р, %	С, %	Р, %	С, %
Контроль, вода 10 л/т	9,5	–	13,0	–	12,9	–
Дивиденд стар, 1 л/т	0	100	0	100	0	100
Круйзер, 0,6 л/т	4,0	57,9	10,2	21,5	12,4	3,8
Дивиденд стар, 1 л/т + круйзер, 0,6 л/т	0	100	0	100	0	100

Примечание: Р – распространение болезни; С – биологическая эффективность.

Таблица 3

Повреждённость растений ячменя вредителями и эффективность препаратов

Вариант	Повреждённость растений вредителями, %		Биологическая эффективность, %	
	шведская муха	хлебные полосатые блошки	шведская муха	хлебные полосатые блошки
Контроль	32,7	86,5	–	–
Дивиденд стар	25,0	88,5	23,5	-2,3
Круйзер	6,0	62,0	81,7	28,3
Дивиденд стар+круйзер	10,5	68,4	67,9	20,9

Таблица 4

Влияние препаратов на урожайность и структуру урожая ячменя

Вариант	Коэффициент продуктивного кущения	Масса зерна одного колоса, г	Число зёрен в колосе, шт	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность, г/м <sup>2</sup>
Контроль	1,83	1,12	20	50,6	242,3
Дивиденд стар	2,16	1,15	21	51,7	262,5
Круйзер	2,17	1,20	21	50,6	275,3
Дивиденд стар+круйзер	2,58	1,23	22	50,8	302,0
НСР <sub>05</sub>					23,4

вреждения хлебными блошками (86,5%) и в средней степени шведской мухой (32,7%). Наиболее эффективен инсектицид круйзер как в чистом виде, так и в баковой смеси был против шведской мухи и в слабой степени действовал на хлебных полосатых блошек (табл. 3).

Максимальная достоверная прибавка урожайности получена при обработке семян баковой смесью препаратов, которая обеспечивалась за счёт повышения продуктивной кустистости и массы зерна колоса (табл. 4).

Определение численности эпифитной микрофлоры зерна нового урожая показало, что обсеменённость семян ячменя в аномально сухой вегетационный период была намного ниже регистрируемой обычно (табл. 5). Как правило, у зерновых в 1 г семян содержится от 700 тыс. до 1,5 млн. КОЕ бактерий и грибов [12]. Ингибирующее последствие протравителя

дивиденд стар на микрофлору семян проявилась как в чистом виде, так и в баковой смеси. В этих вариантах по сравнению с контролем наблюдается существенное снижение численности эпифитной микрофлоры, особенно сильное в отношении бактерий. Трудно объяснить увеличение численности эпифитной микрофлоры семян в варианте с инсектицидом круйзер по сравнению с контролем. Однако и этот показатель не свидетельствует о патологическом загрязнении семян микрофлорой.

**Влияние пестицидов на развитие почвенных микротофотрофов.** Определение численности клеток в популяциях фототрофных группировок показало, что применяемые пестициды по-разному оказывают влияние на интенсивность их развития в ходе вегетационного сезона (табл. 6).

Так, анализ почвенных образцов, отобранных в мае в фазу всходов ячменя, показал, что

фунгицид дивиденд стар не только стимулирует размножение нитчатых зелёных водорослей и диатомей (в 10,2 и 8,3 раза соответственно), но и ускоряет ход альгосукцессий, о чём говорит появление в составе фототрофного комплекса группировок ЦБ. Как правило, появление ЦБ в составе альгоценозов в обычных условиях в нашей зоне происходит во второй половине лета. Следовательно, дивиденд стар провоцирует более раннее размножение ЦБ. В то же время можно говорить и о репрессивном действии круйзера и смеси препаратов в первую очередь по отношению к одноклеточным зелёным водорослям.

В дальнейшем в условиях чрезвычайно жаркого и сухого лета главным лимитирующим фактором в развитии водорослей стала нехватка влаги. Так, во 2-й срок отбора почвенных образцов (конец июня) наблюдается не только существенное снижение обилия водорослей в почве, но и обеднение группового состава альгоценозов, связанное с отсутствием нитчатых зелёных водорослей и цианобактерий (табл. 7). При этом численность

водорослей в почве практически во всех вариантах одинакова.

Третий срок альгологического анализа почвы был выполнен в июле в фазу молочной спелости ячменя. Численность популяций микрофототрофов в это время колебалась от 98 тыс. клеток (дивиденд стар) до 123 тыс. клеток в 1 г почвы (круйзер), т. е. фактически была на одном уровне во всех вариантах (табл. 7), как и в июне (табл. 6). Однако в этот срок наблюдений произошло существенное увеличение численности водорослей в почве по сравнению с июнем.

Последний раз почвенные образцы для проведения альгологического анализа были отобраны после уборки урожая в августе. Результаты количественного учёта фототрофов показывают, что в этот период под влиянием пестицидов происходит существенная перестройка альгоценозов (табл. 8, рис.). Так, если групповое разнообразие популяций фототрофов в контрольном варианте ограничивается только одноклеточными формами зелёных, жёлтозелёных водорослей и диатомей,

Таблица 5

Численность эпифитной микрофлоры семян ячменя (КОЕ/г)

Вариант	Бактерии (МПА)	Грибы (Чапек)	Всего
Контроль	8000±2300	2400±102	10400±2402
Дивиденд стар	5500±500	2500±66	8000±566
Круйзер	54000±5800	10800±110	64800±5910
Дивиденд стар+круйзер	1000	1060±30	2060±30

Таблица 6

Влияние пестицидов на численность почвенных фототрофных популяций (тыс. клеток/г) в мае

Вариант	Группы фототрофов*				Всего
	О	Н	Д	БГЦ	
Контроль	68,8±1,9	5,4±0,8	1,3±0,2	0	75,5±2,9
Дивиденд стар	58,2±2,1	55,4±0,7	11,1±1,3	8,2	132,9±4,1
Круйзер	28,5±5,2	9,3±0,9	1,4±0,05	0	39,2±49,5
Дивиденд стар+круйзер	27,5±2,5	13,9±4,0	1,1±0,03	0	42,5±6,53

Примечание: \* О – одноклеточные зелёные и жёлтозелёные водоросли, Н – нитчатые зелёные и жёлтозелёные водоросли, Д – диатомовые водоросли, БГЦ – безгетероцистные цианобактерии.

Таблица 7

Влияние пестицидов на численность почвенных фототрофных популяций (тыс. клеток/г)

Вариант	Группы фототрофов*		Всего
	О	Д	
Контроль	14,3±2,5	0,65±0,13	14,95±2,6
Дивиденд стар	12,7±0,45	1,6±0,4	14,3±0,8
Круйзер	18,5±0,6	0,5±0,02	19,0±0,6
Дивиденд стар+круйзер	17,1±0,5	0,6±0,02	17,7±0,5

Примечание: \* О – одноклеточные зелёные и жёлтозелёные водоросли, Д – диатомовые водоросли.

Таблица 8

Влияние пестицидов на численность почвенных фототрофных популяций (тыс. клеток/г) в июле

Вариант	Группы фототрофов*		Всего
	О	Д	
Контроль	114,3±4,5	8,3±0,4	122,6±4,9
Дивиденд стар	86,6±24,5	11,4±0,4	98,0±24,9
Круйзер	71,2±1,8	51,9±9,2	123,1±11,1
Дивиденд стар+круйзер	101,3±19,7	6,5±0,5	107,8±20,2

Примечание: \* О – одноклеточные зелёные и жёлтозелёные водоросли, Д – диатомовые водоросли.

Таблица 9

Влияние пестицидов на численность почвенных фототрофных популяций (тыс. клеток/г) в августе

Вариант	Группы фототрофов					Всего
	О	Н	Д	БГЦ	ГЦ	
Контроль	157,4±1,1	0	8,8±0,5	0	0	166,2±1,6
Дивиденд стар	109,2±3,2	0	28,2±0,6	105,6	0	243,0±3,8
Круйзер	84,9±10,2	0	0,7	0	0	85,6±10,2
Дивиденд стар+круйзер	71,9±12,2	7,4±0,4	8,6±1,2	8,6	47,9±2,7	144,4±16,5

Примечание: \* О – одноклеточные зелёные и жёлтозелёные водоросли, Н – нитчатые зелёные и жёлтозелёные водоросли, Д – диатомовые водоросли, БГЦ – безгетероцистные цианобактерии, ГЦ – гетероцистные цианобактерии.

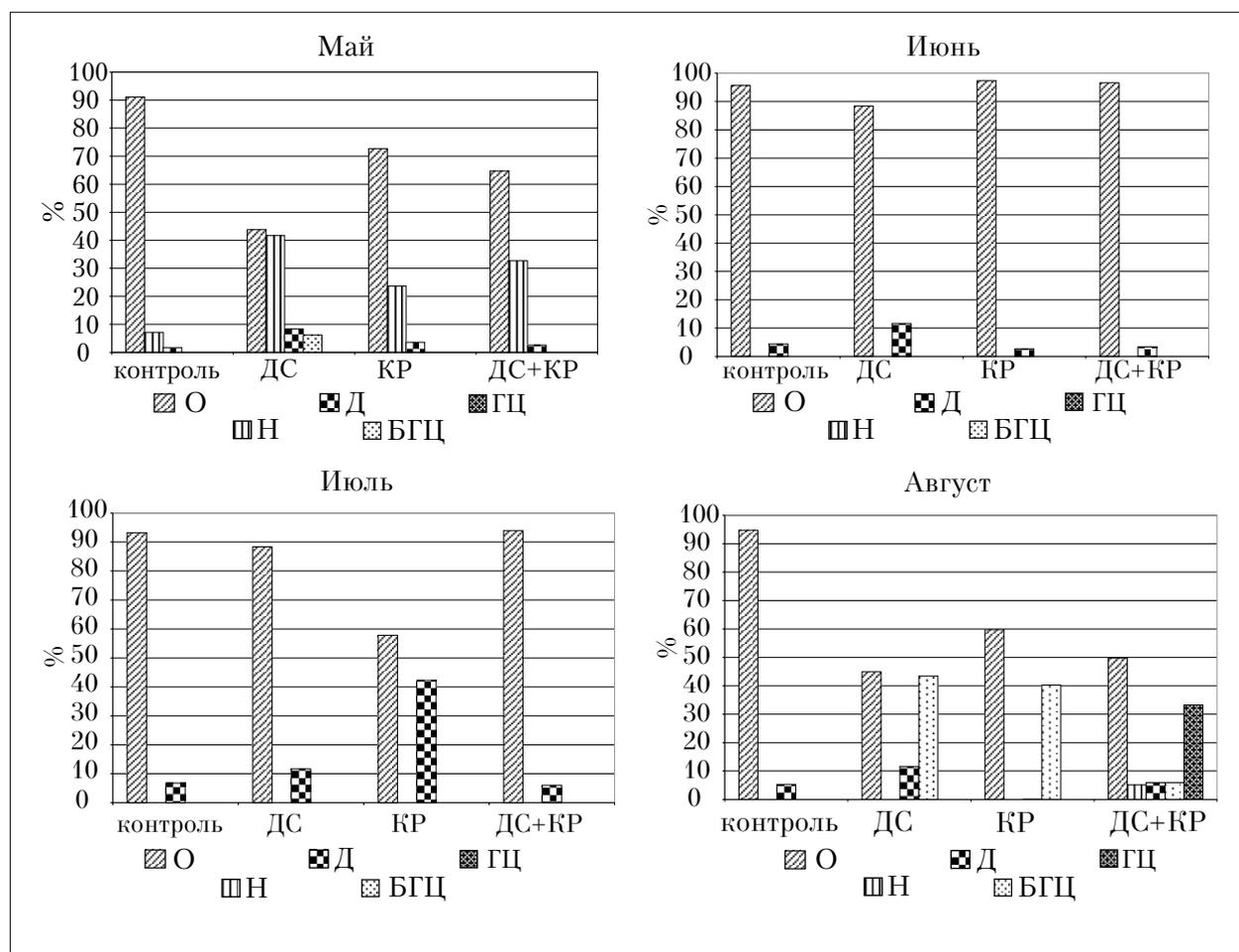


Рисунок. Влияние пестицидов на структуру популяций фототрофных микроорганизмов

Условные обозначения. Варианты опыта: К – контроль, ДС – дивиденд стар, КР – круйзер, ДС+КР – дивиденд стар + круйзер; О – одноклеточные зелёные и жёлтозелёные водоросли, Н – нитчатые зелёные и жёлтозелёные водоросли, Д – диатомовые водоросли, БГЦ – безгетероцистные цианобактерии, ГЦ – гетероцистные цианобактерии

то применение пестицидов приводит к стимуляции размножения ЦБ, причём в варианте с использованием баковой смеси развиваются как безгетероцистные, так и азотфиксирующие их формы. Наибольшее групповое разнообразие фототрофов наблюдается именно в варианте с баковой смесью.

Таким образом, использование дивиденд стар и баковой смеси пестицидов, не приводя к существенным изменениям плотности популяций фототрофов, значительно ускоряет ход сезонных сукцессий, стимулируя более раннее появление в составе альгоценозов их прокарриотного компонента – ЦБ.

### Заключение

Исследования, проведённые в условиях аномально жаркого и сухого лета, показали нетоксичность предпосевной обработки семян ячменя препаратами нового поколения дивиденд стар, круйзер и их баковой смесью, их эффективность в борьбе с возбудителями болезней и вредителями, что привело к повышению продуктивности и урожайности растений, особенно значимой при совместном использовании фунгицида и инсектицида.

Данные препараты также выступают как активаторы развития почвенной микрофлоры. Применение пестицидов приводит к ускорению хода альгосукцессий в почве и повышению группового разнообразия популяций фототрофов. Этот процесс наиболее выражен в варианте с использованием баковой смеси. Полученные результаты доказывают не только резистентность почвенных водорослей и ЦБ к испытываемым препаратам, но и выявляют чёткий стимулирующий эффект дивиденд стар и баковой смеси, который проявляется в ускорении реализации видового потенциала почвенных микрофототрофов в данных вариантах по сравнению с контролем. Механизм этого процесса требует дальнейшего изучения.

### Литература

1. Сергеев В.Р. Эффективный инсектицид для обработки семян зерновых культур // Защита и карантин растений. 2009. № 8. С. 36–37.
2. Круглов Ю.В. Микроскопические водоросли как индикаторы на загрязнение почвы гербицидами // Методы изучения и практического использования почвенных водорослей: Тр. Кировского с.-х. ин-та. Киров. 1972. С. 241–251.
3. Круглов Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды. М.: Агропромиздат, 1991. 128 с.
4. Балежина Л.С. Об использовании водорослей для определения токсичности почвы при применении различных пестицидов // Методы изучения и практического использования почвенных водорослей: Тр. Кировского с.-х. ин-та. Киров. 1972. С. 251–257.
5. Ашихмина Т.Я., Колупаев А.В., Широких А.А. Биотрансформация пестицидов в наземных экосистемах (обзор литературы) // Теор. и прикл. экология. 2010. № 2. С. 4–12.
6. Galhano V., Peihoto F., Gomes-Laranjo J., Fernandez-Valiente E. Differential effects of bentazon and molinate on *Anabaena cylindrica*, an autochthonous cyanobacterium of Portuguese rice field agro-ecosystems // Water, Air and Soil Pollut. 2009. V. 197. № 1-4. P. 211–222.
7. Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Домрачева Л.И., Калинин А.И. Комплексная оценка состояния цианобактерии *Nostoc paludosum* при воздействии различных поллютантов // Теор. и прикл. экология. 2010. № 3. С. 47–51.
8. Марченко С.А. Индикация загрязнения почвы стойкими органическими загрязнителями по функциональной реакции микробного сообщества: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2008. 21 с.
9. Кутузова Р.С., Воробьёв Н.И., Круглов Ю.В. Структура микробного комплекса ризосферы пшеницы в условиях гербицидного стресса // Почвоведение. 2006. № 2. С. 220–227.
10. Pampulha M.E., Ferreira M.A.S.S., Oliveira A. Effects of a phosphinothricin based herbicide on selected groups of soil microorganisms // J. Basic Microbiol. 2007. V. 47. № 4. P. 325–331.
11. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар. 2005. 336 с.
12. Мишустин Е.Н., Трисвятский Л.Л. Микробы и зерно. Изд-во АН СССР, М., 1963. 292 с.