

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЕСТИЦИДОВ

Мельников Н. Н.

Воздействие человеческого общества на окружающую среду началось еще в тот период, когда люди от собирательства пищи перешли к земледелию и животноводству. Этот процесс особенно интенсивно развивался в период научно-технической революции и создания различных отраслей промышленности. Каждая отрасль современного производства вносит свой «вклад» в воздействие на окружающую среду. Так, сжигание добываемых в настоящее время каменного и бурого углей приводит к загрязнению окружающей среды сильными канцерогенами, такими как бензопирен и бензантрацены [1, 2]. Сжигание только каменного угля приводит к выбросу в окружающую среду около 3000 т ртути [3], а также значительного количества диоксида серы и других вредных продуктов. Достаточно сказать, что только в США ежегодно в окружающую среду попадает около 200 млн. т различных химических соединений. Серьезную опасность представляют такие загрязнения, как полихлордифенилы (используемые в электропромышленности), полихлордibenзофураны и полихлордibenзо-*n*-диоксины, образующиеся при сжигании муниципального мусора, при отбеливании бумаги хлором и во многих других случаях. Об опасности этой группы веществ можно судить хотя бы по их острой токсичности для млекопитающих. Так, LD_{50} 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-*n*-диоксина для морских свинок составляет 0,6—2 мкг/кг, а для обезьян 70 мкг/кг [4]. Кроме того, эти соединения обладают канцерогенным, тератогенным и иммунотоксическим действием; безопасной концентрацией 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-*n*-диоксина в питьевой воде считается 0,000035 мкг/л [5]. Пестициды как загрязнители окружающей среды составляют менее 1% от общих загрязнений, однако вследствие того, что они являются физиологически активными соединениями, на них обращается серьезное внимание и в печати идут дискуссии о целесообразности их практического использования. Вместе с тем без применения пестицидов для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков невозможно получение высоких и устойчивых урожаев [6, 7]. В связи с этим применение пестицидов непрерывно расширяется: если в 1986 г. в мире их было использовано на сумму 17 400 млн. долларов, то в 1987 г. на 20 млрд. долларов США, а по прогнозу на 1990 г. потребление их возрастет до 21 млрд. долларов [8].

Потребление пестицидов по разным странам в 1987 г. выглядит следующим образом (млн. долларов): США — 4450, Япония — 3450, Франция — 3400, СССР — 1075, Бразилия — 875, Италия — 860, ФРГ — 855, Великобритания — 760, Канада — 545, Индия — 510, Испания — 485, КНР — 465, Австралия — 399, Венгрия — 320, Южная Корея — 280, Дания — 240, Нидерланды — 210, Аргентина — 205, Индонезия — 170, Мексика — 155. По видам препаратов потребление пестицидов в 1987 г. выглядит так (млн. долларов): гербициды — 8600, инсектициды — 6100,

фунгициды — 4100 и другие — 1200. Отметим, что приведенные данные охватывают только 20 стран, наиболее крупных потребителей пестицидов [8].

Влияние пестицидов и других ксенобиотиков связано со следующими основными свойствами: персистентность, острая и хроническая токсичность для различных видов живых организмов, разлагаемость под воздействием различных видов живых организмов (биоразложение) и наличие различных отрицательных эффектов при воздействии малых доз препаратов в течение длительного времени. По персистентности пестициды распределяются на шесть групп: 1) препараты с продолжительностью сохранения в окружающей среде более 18 месяцев и далее препараты с продолжительностью сохранения соответственно 2) 18 месяцев; 3) 12; 4) 6; 5) 3 и 6) менее 3-х месяцев. Совершенно очевидно, что в зависимости от климатических условий продолжительность сохранения того или иного ксенобиотика в окружающей среде может изменяться в довольно широких пределах. Однако для сравнения отдельных препаратов по персистентности и общей экологической нагрузке на окружающую среду можно использовать формулу:

$$\text{ЭН} = \frac{P}{\text{ЛД}_{50}} \Pi,$$

где ЭН — экологическая нагрузка на гектар, P — норма расхода препарата на гектар в г, Π — персистентность препарата в неделях (период полураспада) и ЛД_{50} — норма острой токсичности в мг/кг [9]. Конечно, приведенная формула не дает абсолютных значений, но позволяет сравнивать относительную опасность того или иного препарата.

Отметим, что за последние десятилетия пестициды претерпели серьезные изменения, как по персистентности, так и по экологической нагрузке на объекты окружающей среды и опасности для человека и животных. В табл. 1 приведены данные по некоторым свойствам пестицидов различных поколений. Как видно из табл. 1, произошло резкое изменение персистентности предлагаемых препаратов, их токсичности, а также норм расхода на гектар. Так, например, для инсектицидов нормы расхода сократились с нескольких килограммов на гектар до нескольких граммов, изменилась и острая токсичность — для применения могут быть выбраны препараты с самой различной продолжительностью действия и разной токсичностью для млекопитающих. Если раньше применялись, главным образом, соединения мышьяка с практически абсолютной персистентностью, то в настоящее время имеются препараты, которые разлагаются на простейшие вещества в течение одного-двух дней, недели или месяца. Такие препараты не могут загрязнять окружающую среду.

Совершенно аналогичная картина и в ряду фунгицидов, нормы расхода которых доведены до 25—100 г/га. При таких нормах расхода трудно представить возможность загрязнения окружающей среды, так как на две тонны почвы вносится 2,5—10 мг препарата. Особенно рельефны результаты по созданию новых гербицидов, как для борьбы с однодольными, так и двудольными сорными растениями.

По персистентности же могут быть выбраны такие гербициды, сроки разложения которых не превышают одного вегетационного периода.

Отметим также, что по токсичности для млекопитающих могут быть выбраны препараты с достаточно низкой ядовитостью, во многих случаях не превышающей острую токсичность хлористого натрия. Здесь уместно напомнить постулат Парацельса, что все вещества ядовиты, но только доза делает их ядом. Этот постулат справедлив и для установления максимально допустимых уровней (МДУ) для таких эффектов, как тератогенное и канцерогенное действие. Так, например, при кормлении животных пищей, содержащей более 120 г/кг этилентииомочевины, наблю-

Персистентность, острая токсичность и нормы расхода пестицидов различных поколений

Поколение пестицидов	Группа персис- тентности	ЛД ₅₀ . мг/кг	Норма расхода. кг/га
Инсектициды			
Первое поколение: соединения мышьяка	1	1,8-5	4-10
Второе поколение: хлорорганические	1-2	25-1000	0,1-2
фосфорорганические	5-6	1-3000	0,5-5
карбаматы	5-6	25-1000	0,5-2
Третье поколение: пиретроиды	5-6	40-2000	0,006-0,1
гормональные	5-6	1000-2000	0,05-0,3
Фунгициды			
Первое поколение	1-3	5-450	5-9
Второе поколение (протравители)	5-6	18-200	0,003-0,2
Третье поколение (дитиокарбаматы)	5-6	400-6000	1,8-3
Четвертое поколение (азолы)	5-6	400-4000	0,025-0,15
Гербициды для однодольных сорняков			
Первое поколение (ТХАН, далапон)	4-5	3000-4000	4-20
Второе поколение (тиокарбаматы)	5-6	400-1400	1-2
Третье поколение (производные гидрохинона)	5-6	800-3000	0,25-1
Гербициды для двудольных сорняков			
Первое поколение: динитрофенолы	5	40-100	2-4
сульфат аммония, хлораты	4-5	100-500	200-600
Второе поколение (арилалканкарбоновые кислоты, производные бензойной кислоты)	2-4	300-1000	0,2-2
Третье поколение (сульфонилмочевины)	1-6	1000-5000	0,01-0,05

дается появление злокачественных опухолей, тогда как при меньшем содержании в пище этого вещества канцерогенного действия не отмечено. Кроме того, необходимо изучение возможных отдаленных последствий при воздействии малых доз препаратов в течение длительного времени на нескольких видах животных и на трех поколениях экспериментальных животных. При таком изучении появляются достаточные гарантии безопасности препарата.

Важным вопросом при изучении новых препаратов является их био-разложение различными видами организмов. С этой целью изучается метаболизм пестицидов в организме млекопитающих, в растениях и микроорганизмах, с выделением и идентификацией всех продуктов разложения пестицидов, а также определением скорости метаболизма и динамики остатков в урожае. Определение динамики разложения пестицидов на растениях позволяет установить время ожидания, которое необходимо для получения чистой от пестицида продукции после обработки. Во многих странах время ожидания является главным критерием качества продуктов, обработанных пестицидами (кроме аналитического определения их остатков в урожае). Конечно, в разных климатических условиях и для различных культур время ожидания может быть не одинаковым, что определяется для каждого региона отдельно. Время ожидания в значительной степени связано с температурой, осадками и скоростью мета-

Содержание полихлордифенилов в различных видах живых организмов

Организм	Год	Содержание ПХД мг/кг *	Регион
Щука	1980	2,4	Балтика
Кайра	1981	100	Швеция
Баклан	1975	130	Швеция
Гага	1980	2,6	Шпидберген
Скопа, яйца	1978	200	Северная Швеция
Болотный лунь, яйца	1977	150	Северная Швеция
Орлан белохвостый	1982	340	Лапландия
Серый тюлень	1976–1978	38	Балтика
Кольчатая нерпа	1981	85	—
Гренландский тюлень	1982	4,5	—
Каспийский тюлень	1977	1,5	Каспий

* В пересчете на липиды.

болизма в данной культуре. Например, хлорсульфурон быстро метаболизирует в пшенице и практически не разлагается в сахарной свекле.

Прежде чем допустить новый препарат для практического использования в сельском хозяйстве, он тщательно изучается по всем перечисленным выше направлениям, включая мутагенное и канцерогенное действие на животных, а также тератогенный эффект. Однако не всегда можно данные, полученные на одном виде животных, перенести на другой вид животных и человека. Поэтому берут «запас безопасности», который в большинстве случаев на два порядка меньше безопасного уровня для животных.

Пестициды, предназначенные для обработки животных или кормов для них, изучаются на данном виде животных. Причем определяется не только содержание их в продуктах животноводства, идущих для питания человека, но и динамика их выведения из организма животных, а также характер и содержание продуктов метаболизма. Такое изучение в достаточной степени гарантирует безопасность использования продуктов животноводства в пищу человеку. Отметим, что препараты, которые дают остатки в продуктах животноводства, в настоящее время в большинстве стран не применяются. Однако необходимо отметить, что после применения ДДТ, токсафена и других подобных веществ в окружающей среде сохранилось довольно значительное их количество, в связи с чем в воде часто находят остатки указанных веществ, хотя и в незначительных количествах [10]. Отметим, что во многих живых организмах находят значительные количества полихлордифенилов, как это видно из табл. 2.

Как известно, полихлордифенилы в качестве пестицидов не применяются, но являются весьма стабильными соединениями, медленно метаболизирующими под влиянием различных живых организмов. Еще более стабилен 2,3,7,8-тетрахлордифенил-*h*-диоксин, который в почвах Калифорнии может сохраняться более 14 лет.

Отметим, что в окружающей среде могут накапливаться весьма ядовитые соединения — продукты жизнедеятельности фитопатогенных грибов — микотоксины, токсичность некоторых из них приведена в табл. 3. Применение пестицидов позволяет избавиться от микотоксинов, которые кроме высокой токсичности обладают канцерогенным и мутагенным действием.

Анализ зерновых злаков на содержание ниванола (500 образцов из 19 стран) показал, что микотоксины в зерне могут содержаться в весьма

Таблица 3

**Острая токсичность
некоторых микотоксенов для крыс**

Микотоксин	ЛД ₅₀ , мг/кг
Афлотоксин В ₁	7,2
Т-Токсин	3,6
Ниванол	7,4
Фузаренон Х	4,4
Малоформин	4,0
Стрихнин (для сравнения)	7,5

Таблица 4

**Содержание
микотоксина ниванола
в различных культурах**

Культура	Содержание ниванола, мг/кг
Пшеница	127
Ячмень	101
Кукуруза	766
Рожь	47
Овес	438
Рис	22
Сорго	90

значительных количествах [11]. В табл. 4 приведены результаты определения ниванола в зерне ряда культур из 19 стран. Укажем, что содержание ниванола в некоторых образцах достигало долей процента. Продуцентами многих токсинов являются грибы рода фузариум, вертициллиум и некоторых других.

Наряду с токсинами, вырабатываемыми микроорганизмами, в природе имеется большое число ядовитых растений, от которых нередко бывают отравления людей с летальным исходом. Так, в Средней Азии в 30-е годы было большое число отравлений семенами триходесмы, которая засоряла пшеницу и попадала в муку, вследствие чего отмечались многие случаи отравлений. После применения гербицидов типа арилоксиалканкарбоновых кислот удалось уничтожить этот сорняк и отравления людей прекратились. В табл. 5 приведена токсичность для мышей некоторых пептидов, выделенных из растений [12]. Как видно, такие пептиды весьма токсичны и по силе действия приближаются к 2,3,7,8-тетрахлордibenзо-*п*-диоксину, который, как известно, является наиболее ядовитым ксенобиотиком.

Интересен 17-летний эксперимент польских исследователей по влиянию пестицидов в севообороте на различные объекты окружающей среды [13]. Он проводился с 1963 по 1980 гг. на площади более 500 га. Всего за этот период на указанной площади было израсходовано 11846,3 кг пестицидов, в том числе 804,2 кг ДДТ, 376,26 кг линдана, 170,28 кг метоксихлора, 476,626 кг фосфорорганических и карбаматных инсектицидов, 697,975 кг фунгицидов (в том числе 9,02 кг соединений ртути) и 9315,302 кг гербицидов. Ежегодно анализировались все продукты, выращенные на указанной площади, дикие животные, птицы, вода и почва. В результате проведенной работы авторы пришли к выводу, что не наблюдается загрязнения растений ни пестицидами, ни линданом, ни ДДТ, ни фосфорорганическими соединениями, они не обнаружены ни в наземной части расте-

Таблица 5

Острая токсичность некоторых пептидов растительного происхождения

Название	Растение	ЛД ₅₀ , мг/кг
Абрин	<i>Abrus precatorius</i>	0,6
Вискумин	<i>Viscum album</i>	2,4
Волькенсин	<i>Adenia volkensii</i>	1,4
Модецин	<i>Adenia degitata</i>	2,1
Рицин	<i>Ricinus communis</i>	2,6

ний, ни в корнях. Особенно интересно, что они не обнаружены в клубнях картофеля и в сахарной свекле, несмотря на присутствие их в почве. Наилучшим тест-объектом для определения загрязнения почвы хлорорганическими препаратами являются дождевые черви, в которых происходит биоконцентрация ДДТ и линдана, что связано с их постоянным пребыванием в почве и со спецификой питания органическими остатками. Жужелицы и полевки также способны накапливать хлорорганические препараты и карбаматы, но не накапливают фосфорорганических соединений.

Наблюдения польских исследователей в определенной степени коррелируют с результатами работ ученых других стран, в том числе Советского Союза.

Интересна динамика роста численности диких животных и птиц. Так, в Венгрии в 1967 г. было зарегистрировано косуль, кабанов, оленей, серых куропаток, фазанов и зайцев-русаков соответственно 107,8; 12,2; 21,8; 588; 889,0 и 101,76 тысяч особей при расходе пестицидов менее 3 кг/га, а в 1974 г., когда расход пестицидов на гектар посевов и насаждений вырос до 4,6 кг, численность указанных выше животных соответственно возросла до 173,0, 17,0, 38,0, 860,0, 2360,0 и 1100,0 тыс. особей [14]. Аналогичная картина наблюдалась в земле Северный Рейн-Вестфалия.

Большое значение имеет влияние пестицидов на гидробионтов, в связи с чем в настоящее время весьма детально изучается токсичность их для водных организмов, в том числе для различных пород рыб. Установлено, что хлорорганические соединения способны накапливаться в организме рыб, откуда они сравнительно медленно выводятся, вследствие чего они с рыбой могут попадать в пищевые цепи человека. Однако применение такого типа соединений в большинстве стран, в том числе и в Советском Союзе, или резко сокращено, или полностью прекращено. Фосфорорганические же пестициды в организме рыб, как правило, не накапливаются и быстро выводятся. Так, например, карбофос из организма рыб выводится в течение одного дня, а другие фосфорные пестициды в течение одной недели.

Необходимо отметить, что использование инсектицидов в сельском хозяйстве может быть сокращено на 30—50% за счет использования половых феромонов для определения численности наиболее опасных вредителей и определения порогов их вредоносности. Феромоны экологически чисты и не могут принести какой-либо ущерб объектам окружающей среды, в том числе полезным насекомым. В связи с этим целесообразно наиболее широкое использование феромонов насекомых. При дезориентации насекомых феромоны в значительной степени могут заменить инсектициды.

Сокращение расхода фунгицидов может происходить только за счет выведения устойчивых сортов растений, которые однако через 2—3 года теряют свою устойчивость к данному виду заболеваний. В связи с этим от фунгицидов в ближайшие десятилетия вряд ли возможно отказаться. Для гербицидов же разумной альтернативы нет. Кроме того, в большинстве случаев в урожае не находят остатков гербицидов. Однако во всех случаях наиболее целесообразно применять комбинированную систему защиты растений, в том числе при использовании интенсивных технологий возделывания различных сельскохозяйственных культур. Интегрированная система защиты растений при учете порогов вредоносности и хорошо налаженном мониторинге вредных организмов поможет существенно сократить экологическую нагрузку от применения пестицидов.

Необходимо создание государственной службы защиты растений по типу ветеринарной службы, что обеспечит правильное и разумное применение пестицидов и соблюдение нормальной фитосанитарной обстановки. Для защиты растений у арендаторов следует создать специальные хоз-

расчетные бригады, которые квалифицированно применяли бы пестициды и обеспечивали чистоту получаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Newman N. S., Tierney B., Veeraraghan S.* The chemistry and Biology of Benz[a]-anthracenes. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. 228 p.
2. *Smoczinski S., Amarowicz R.* Chemiczne skazenia zimnosci. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1988. 267 s.
3. *Мельников Н. Н., Волков А. И., Короткова О. А.* Пестициды и окружающая среда. М.: Химия, 1977. 240 с.
4. *Kociba R. J., Gabey O.* // Chemosphere, 1985. V. 14, P. 649—666.
5. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology / Ed. G. W. Ware.* 1989. V. 107, P. 147—176.
6. *Фадеев Ю. Н., Новожилов К. В., Тютчев С. Л.* // Журн. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева. 1988. Т. 33, № 6. С. 613—618.
7. *Столяр И. С.* // Защита растений. 1989. № 1. С. 6—9.
8. *MacKenzie W.* // Agrochemical Service. 1988.
9. *Мельников Н. Н.* // Агрохимия. 1986. № 3. С. 119—129.
10. *Бобовникова Ц. И., Вирченко Е. П., Сиверина А. А.* // Рациональный экологический мониторинг. М.: Наука, 1983. С. 121—180.
11. *Tanaka T.* // J. Agric. Food Chem. 1988. V. 36. P. 979—983.
12. *Stripe F.* // Selectivity and Molecular Mechanisms of Toxicity / Ed. F. Matteis et al. L.: Macmillan Press, 1987. P. 105—125.
13. *Венгорек В.* // Агрохимия. 1983. № 1. С. 93—101.
14. *Гольшин Н. М.* // Вестн. сельскохозяйств. науки. 1988. № 7. С. 18—28.

Всесоюзный научно-исследовательский институт химических средств защиты растений, Москва