

ОЦЕНКА ОСАЖДЕНИЯ РАБОЧЕГО РАСТВОРА И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНСЕКТИЦИДНЫХ ОБРАБОТОК ПОСЕВОВ КУКУРУЗЫ С ПОМОЩЬЮ АГРОДРОНА

А.В. Ленский,

зав. сектором эксплуатационно-экономической оценки машин РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. экон. наук, доцент

С.В. Бойко,

зав. лабораторией энтомологии РУП «Институт защиты растений», канд. с-х. наук, доцент

А.А. Жешко,

ведущ. науч. сотр. сектора эксплуатационно-экономической оценки машин РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

М.Г. Немкевич,

ведущ. науч. сотр. лаборатории энтомологии РУП «Институт защиты растений», канд. с-х. наук, доцент

В статье предложена методика обработки результатов экспериментальных исследований применения агродрона при химической защите кукурузы. Выполнена оценка качества осаждения рабочего раствора с применением специализированного программного обеспечения и представлены результаты эксперимента при различных технологических параметрах полета агродрона. Дана оценка биологической эффективности инсектицидных обработок, проведенных на опытных участках.

Ключевые слова: агродрон, насекомые-вредители, химическая защита кукурузы, параметры эксплуатации, качество осаждения, результаты эксперимента.

The article provides a method for processing the results of experimental studies on the use of agricultural drones for corn chemical protection. The quality of the working solution deposition was assessed using specialized software, and the results of the experiment were presented for various technological parameters of the agricultural drone flight. The biological effectiveness of insecticide treatments carried out on experimental sites is assessed.

Keywords: agricultural drone, insect pests, corn chemical protection, operating parameters, deposition quality, experimental results.

Введение

В современном сельском хозяйстве применение химических средств защиты растений (СЗР) имеет важное значение для обеспечения роста урожайности сельскохозяйственных культур и качественных показателей производства продукции растениеводства. В то же время использование средств химизации в растениеводстве может оказывать негативное воздействие на окружающую среду, особенно при значительных объемах обработок, либо нарушении технологии выполнения работ.

Новые возможности применения СЗР открылись с появлением и все более активным использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или агродронов. В настоящее время на рынке доступно множество моделей специализированных БПЛА, однако отсутствует достаточное научное обеспечение и подтверждение целесообразности использования дронов для химической обработки различных культур.

Вопросы использования агродронов в сельском хозяйстве освещаются в работах отечественных и зарубежных ученых (А.А. Жуковский, Ю.А. Леоновец, Н. Hu1, Y. Kaizu, J. Huang, K. Furuhashi, H. Zhang).

В рамках данного исследования была выполнена оценка параметров полета при различных режимах обработки кукурузы в начале июля и в начале августа.

Цель данной работы – дать оценку осаждения рабочего раствора и биологической эффективности инсектицидных обработок, выполненных с применением агродрона на экспериментальных полевых участках.

Основная часть

Методика обработки результатов экспериментальных исследований применения агродрона при химической защите кукурузы

Контроль качества осаждения рабочего раствора, вносимого агродроном, является достаточно сложной и

ответственной задачей. Неравномерное распределение СЗР может привести либо к чрезмерному внесению высококонцентрированного раствора и, соответственно, перерасходу препарата и росту экологической нагрузки на растения, либо к недостаточной эффективности и снижению урожайности сельскохозяйственных культур. В обоих случаях применение агродронов приведет к существенным затратам финансовых и материальных ресурсов без достижения целевого результата.

В процессе выполнения экспериментальных исследований по оценке эффективности химических обработок общей применяемой практикой является использование водочувствительной бумаги (ВЧБ) для контроля качества осаждения рабочего раствора, включая параметры размера капель, степени и равномерности покрытия, равномерности распределения рабочего раствора по ширине распыления [1-5].

При проведении экспериментальных обработок использовался агродрон EFT-Z30.

Методика определения качественных характеристик технологического процесса опрыскивания состоит из следующих этапов:

1. *Подготовительный этап* – сбор обработанных листов ВЧБ и упаковка в сухие водонепроницаемые пакеты, группировка тестовых полосок в соответствии со схемой эксперимента;

2. *Предварительный этап* – фотографирование или сканирование ВЧБ для проведения анализа, подготовка снимков для программной обработки;

3. *Аналитический этап* – обработка снимков ВЧБ в специализированном программном приложении, определение степени покрытия рабочим раствором, определение размера капель;

4. *Оценка результатов* – обобщение полученных результатов, подготовка заключения по результатам экспериментальных исследований.

Подготовительный этап осуществляется в процессе выполнения полевых экспериментальных исследований. При этом необходимо учитывать, что для корректной обработки полученных результатов, время между подготовительным и предварительным этапом не должно превышать 48 часов.

Основной целью предварительного этапа является сканирование ВЧБ и подготовка снимков в программных приложениях для обработки и цветовой корректировки изображений (при необходимости). При этом следует соблюдать осторожность при обращении с листами водочувствительной бумаги и не допускать наличия повреждений и посторонних отпечатков на ВЧБ.

При подготовке изображений необходимо соблюдать единый размер по длине и ширине сканированного листа ВЧБ.

На этапе аналитической обработки осуществляется оценка отсканированных и скорректированных изображений при помощи специализированных программных приложений (SnapCard, DepositScan или Image J). В частности, обязательно проводится оценка неравномерности степени покрытия водочувстви-

тельной бумаги и среднего размера капли. Неравномерность распределения определяется по формулам:

$$U_D = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\min}};$$

$$U_{DS} = \frac{DS_{\max} - DS_{\min}}{DS_{\min}},$$

где U_D , U_{DS} – неравномерность распределения рабочего раствора по степени покрытия и размеру капли соответственно, %;

D_{\max} , D_{\min} , DS_{\max} , DS_{\min} – максимальное и минимальное значения степени покрытия ВЧБ (%) и среднего размера капли (мкм), полученные при испытаниях.

При запуске программы DepositScan осуществляется преобразование изображений в 8-битный полутоновый формат, затем производится выбор анализируемой области и автоматически осуществляется подсчет черных и белых пикселей. Программа представляет результаты в виде нескольких ключевых параметров, включая процент покрытия листа ВЧБ рабочим раствором, площадь анализируемого изображения, плотность покрытия и величину осаждения капель [6]. Эти параметры отражают следующие показатели качества распыления:

- процент покрытия (целевая площадь, покрытая распыляемым рабочим раствором, является важнейшим показателем эффективности опрыскивания);

- площадь изображения (общая оцененная площадь);

- плотность покрытия (показывает количество капель на единицу площади целевой поверхности);

- количество жидкости, осажденное на целевой площади.

Алгоритм проведения оценки результатов экспериментальных исследований в виде последовательно выполняемых действий представлен на рисунке 1.

Результаты оценки эффективности осаждения рабочего раствора при различных технологических параметрах работы агродрона

При проведении экспериментальных исследований степень осаждения рабочего раствора фиксировалась при помощи водочувствительной бумаги (Syngenta). Непосредственно в полевых условиях была осуществлена группировка ВЧБ и сделаны фотографии в высоком разрешении (рис. 2). Каждая карточка была промаркирована с обратной стороны для определения ее положения на растении во время опыта.

В лабораторных условиях подготовка снимков ВЧБ проводилась с помощью сканера высокого разрешения (600 точек на дюйм). Сканер использовался для создания цифровых изображений ВЧБ, которые затем подвергались корректировке и масштабированию с единым разрешением (1780x610 пикселей). В дальнейшем осуществлялся анализ изображений с помощью программного обеспечения DepositScan (рис. 3), специально разработанного для измерения отложений капель на цифровых изображениях и ана-



Рисунок 1. Алгоритм проведения оценки результатов экспериментальных исследований:
* – рекомендуется выполнить для исключения потери результатов в случае повреждения или потери ВЧБ;
** – предварительно необходимо определить требуемое разрешение для точного определения параметров распыляемого рабочего раствора в соответствии с целями и задачами эксперимента

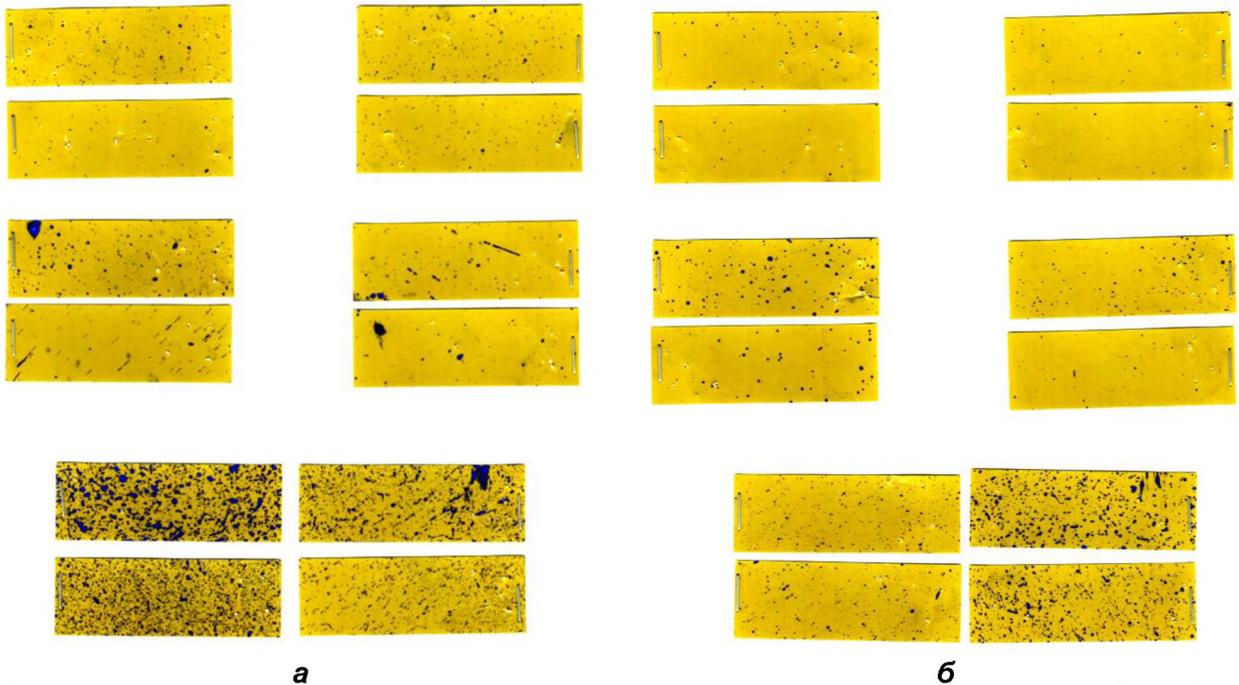


Рисунок 2. Группированные карточки ВЧБ и фотоснимки результатов эксперимента в полевых условиях:
а – фотоснимок эксперимента № 5; б – фотоснимок эксперимента № 4

лиза ключевых параметров, включая плотность капель, процент покрытия и медианный диаметр [7].

Всего было обработано 58 карточек ВЧБ, полученных в результате выполнения пяти экспериментов (табл. 1).

По результатам исследования и обработки тестовых листов ВЧБ можно оценивать эффективность процесса внесения жидких форм препаратов в зависимости от их

целевого назначения, а также уровень экологической безопасности процесса внесения пестицидов.

Результаты обработки изображений и оценки параметров распределения рабочего раствора приведены в таблице 2.

На рисунке 4 представлена диаграмма рассеивания рабочего раствора, показывающая средние показатели степени осаждения по ярусам растений кукурузы.

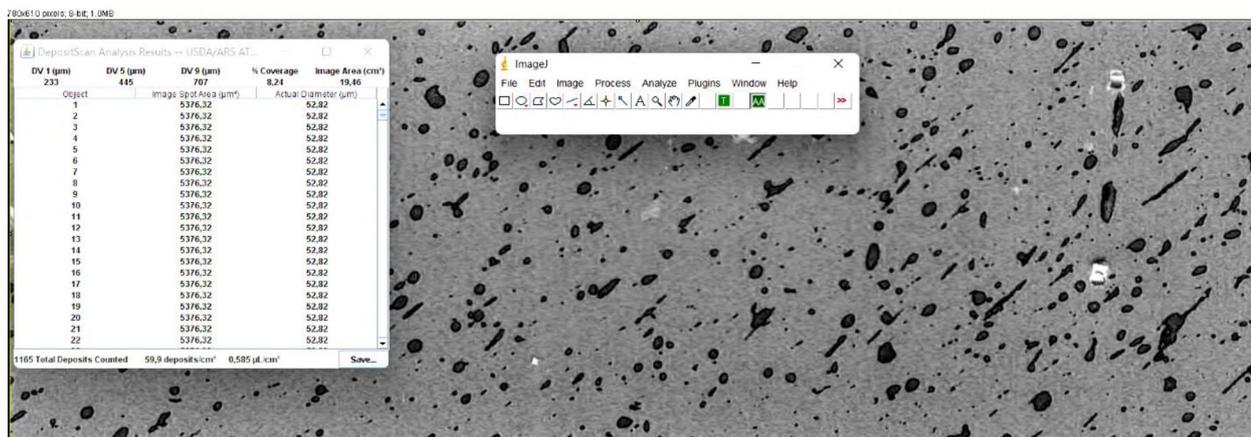


Рисунок 3. Пример обработки изображения в программе DepositScan

Таблица 1. Характеристики параметров полета и внесения рабочего раствора

Параметры полета	Номер эксперимента				
	1	2	3	4	5
Скорость полета, м/с	6,0	8,0	6,0	6,0	7,0
Высота полета над культурой, м	3,0	3,5	3,5	4,0	3,5
Ширина внесения рабочего раствора, м	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Норма внесения рабочего раствора, л/га	10	10	8	10	9
Скорость атомизеров форсунок, % от максимума	50	40	30	30	40
Количество ВЧБ, ед.	10	10	12	12	12

Таблица 2. Выборка из таблицы данных о характеристике распределения рабочего раствора

Расположение ВЧБ	Уровень	Процент покрытия	Средний размер капли	Процент покрытия		Средний размер капли	
				Эксперимент № 4	Эксперимент № 5	Эксперимент № 4	Эксперимент № 5
Номер эксперимента		Эксперимент № 4		Эксперимент № 5			
Слева (3,5 м от линии полета)	верх	2,23	139,7	0,9	171		
	низ	1,04	143,7	1,57	164		
Слева (2,1 м от линии полета)	верх	4,06	172,1	5,9	237,4		
	низ	1,45	176,3	1,52	176,3		
Слева (0,7 м от линии полета)	верх	28,45	234	8,24	181,8		
	низ	24	162	4,58	222,5		
Справа (0,7 м от линии полета)	верх	16,74	163,1	28,31	155,3		
	низ	8,85	121,8	2,88	155,4		
Справа (2,1 м от линии полета)	верх	2,24	167,9	7,44	143,4		
	низ	1,71	150,6	2,79	159,8		
Справа (3,5 м от линии полета)	верх	1,25	152,1	0,84	121,7		
	низ	1,12	136,5	1,61	115,6		
Среднее значение	верх	9,16	171,48	8,61	168,43		
	низ	6,36	148,48	2,49	165,6		

На основании рисунка 4 можно отметить, что осаждение рабочего раствора, как в верхнем, так и в нижнем ярусе, приближено к нормальному закону, однако для верхнего яруса вид кривой в большей степени соответствует нормальному распределению. Это обусловлено менее прогнозируемым осаждением капель на высоте до 1 метра из-за сложности обработки высокостебельных культур (нижние листья частично скрыты верхними листьями) и вторичного отражения

воздушного потока от земли. Различия в степени осаждения рабочего раствора между верхним и нижним ярусами растений достигают от 1,5 до 2,5 раз.

Средняя степень покрытия ВЧБ для каждого эксперимента приведена на рисунке 5.

Химические обработки при экспериментах № 4 и № 5 показали самый высокий общий средний показатель покрытия (15,52 и 11,1%) соответственно, за ними следует обработка при эксперименте № 2 (9,52%). В отличие от указанных обработок эксперименты № 1 и № 3 продемонстрировали самые низкие показатели (4,03 и 5,37) соответственно, что делает их наименее эффективными среди всех обработок, выполненных в рамках данного исследования.

На основании полученных результатов можно утверждать, что наиболее рациональными параметрами полета агродрона при обработке кукурузы являются:

- норма внесения рабочего раствора – 10 л;
- установленная ширина внесения – 7 м;
- скорость полета – 6-7 м/с;
- высота полета – 3,5-4 м над культурой;
- скорость атомизеров – 40 %.

При этом следует отметить, что высокая неравномерность распределения рабочего раствора по ширине захвата при выполнении

экспериментов была обусловлена спецификой проведения испытаний (пролет агродрона только в одну сторону без учета перекрытий). В этой связи особое внимание необходимо уделять определению эффективной ширины захвата агродрона. Последовательность расчета эффективной ширины захвата рассмотрена в разработанной РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» методике испыта-

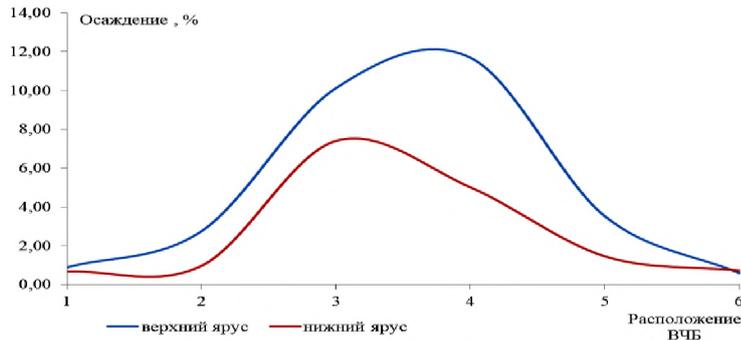


Рисунок 4. Осаждение капель рабочего раствора по ярусам кукурузы (средние значения по пяти экспериментам):
1 – расположение ВЧБ слева – 3,5 м от линии полета;
2 – расположение ВЧБ слева – 2,1 м от линии полета;
3 – расположение ВЧБ слева – 0,7 м от линии полета;
4 – расположение ВЧБ справа – 0,7 м от линии полета;
5 – расположение ВЧБ справа – 2,1 м от линии полета;
6 – расположение ВЧБ справа – 3,5 м от линии полета

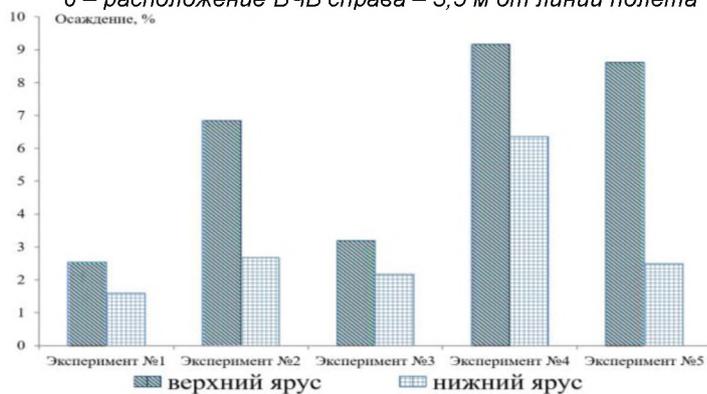


Рисунок 5. Средняя степень покрытия для различных уровней расположения ВЧБ

ний гражданских беспилотных летательных аппаратов для авиационных химических работ. При выполнении реальных химических обработок была установлена эффективная ширина внесения (с учетом перекрытий) или ширина галса полета, равная 6 м.

Контроль качества инсектицидной обработки в Молодечненском и Брестском районах осуществлялся также с применением ВЧБ, расположенной перпендикулярно траектории полета агродрона, через один ряд растений.

Результаты обработки изображений и оценки неравномерности распределения рабочего раствора при инсектицидных обработках приведены в таблице 3.

На основании таблицы

3 можно отметить, что вариация параметра степени покрытия ВЧБ составляет свыше 250 % в зависимости от яруса расположения ВЧБ на растении. Тем не менее, данный показатель не следует оценивать по критериям, применяемым к наземным штанговым машинам, поскольку при обработке агродроном реализуется метод ультрамалообъемного опрыскивания. В этой связи требуется проведение дополнительных исследований по определению численных значений качественных параметров осаждения рабочего раствора при авиационном опрыскивании с применением БПЛА.

Оценку размера капли проводят в соответствии с общепринятыми значениями [8]:

- до 150 мкм – условно мелкие;
- 150-300 мкм – средние;
- более 300 мкм – крупные.

В соответствии с ГОСТ 34630-2019 средний размер капли при проведении инсектицидных обработок не превышал 150 мкм.

Оценка биологической эффективности инсектицидных обработок кукурузы при помощи агродрона

В начале июля в Молодечненском районе при проведении визуального учета на растениях кукурузы в стадии «9–10 листьев» отмечена высокая плотность яйцекладок стеблевого кукурузного мотылька (СКМ) – 3,0 шт./100 растений, что послужило основанием для закладки производственного опыта. Максимальная высота растений кукурузы в этот период составила – 1,8 м.

Таблица 3. Характеристики распределения рабочего раствора при обработке инсектицидом

Расположение ВЧБ	Уровень	Процент покрытия	Средний размер капли	Процент покрытия	Средний размер капли
Номер теста		Тест № 1		Тест № 2	
Ряд № 1	верх	-	-	3,69	117,8
	низ	-	-	3,87	113,5
Ряд № 3 (1,4 м)	верх	4,16	114,2	5,1	118,7
	низ	0,94	108,3	1,96	112,9
Ряд № 5 (2,8 м)	верх	8,5	131,4	6,17	118,7
	низ	2,6	116,7	2,81	110,4
Ряд № 7 (4,2 м)	верх	6,4	139,2	7,45	116,2
	низ	1,69	108,1	3,87	119,4
Ряд № 9 (5,6 м)	верх	9,27	114,6	13,43	127,9
	низ	3,62	112,4	2,47	110,2
Ряд № 11 (7,0 м)	верх	6,2	117,3	4,18	109,7
	низ	0,97	102,3	4,9	112,7
Ряд № 13 (8,4 м)	верх	5,41	131,3	8,96	142,8
	низ	2,75	123,8	2,8	114,3
Ряд № 15 (9,8 м)	верх	-	-	5,75	128,1
	низ	-	-	2,69	112,4
Среднее значение	верх	6,66	124,67	6,84	122,49
	низ	2,1	111,93	3,17	113,23

В схему опыта были включены термостойкие инсектициды из химического класса диамида:

– вариант без обработки растений (контрольный вариант);

– Кораген, КС (хлорантранилипрол, 200 г/л) – 0,15 и 0,2 л/га;

– Рино-А, КС (хлорантранилипрол, 200 г/л) – 0,15 и 0,2 л/га.

Установлено, что поврежденность растений гусеницами вредителя перед уборкой кукурузы в условиях 2024 г. в контрольном варианте составила 61,9 % (табл. 4).

Таблица 4. Биологическая эффективность инсектицидов в снижении поврежденности растений кукурузы стеблевым кукурузным мотыльком (производственный опыт, Молодечненский район, гибрид LG 224, 2024 г.)

Вариант опыта, норма расхода препарата, л/га	Повреждено растений перед уборкой, %	Тип повреждений			Биологическая эффективность, %
		слом метелки, %	слом стебля выше початка, %	слом стебля ниже початка, %	
Контрольный вариант (вариант без обработки)	61,9	71,8	12,8	15,4	–
Кораген, КС – 0,15	10,0	80,0	0	20,0	83,8
Кораген, КС – 0,2	4,0	100	0	0	93,5
Рино-А, КС – 0,15	5,0	100	0	0	91,9
Рино-А, КС – 0,2	1,0	100	0	0	98,4

Оценка хозяйственной эффективности применения инсектицида Кораген, КС (нормы расхода – 0,15 и 0,2 л/га) в стадии кукурузы 9-10 листьев (ДК 19 –20) от стеблевого кукурузного мотылька позволила получить урожай зерна кукурузы – 120,0 и 121,0 ц/га соответственно, с сохранением 9,8 и 10,8 ц/га зерна (8,9 и 9,8 %). Это было статистически достоверно по отношению к урожаю в контрольном варианте (табл. 5). При применении препарата Рино-А, КС (нормы расхода 0,15 и 0,2 л/га) получена урожайность культуры – 120,8 и 122,1 ц/га с сохранением 10,6 и 11,9 ц/га зерна (9,6 и 10,8 %).

Результаты феромономониторинга на территории Брестского района во второй половине вегетации кукурузы показали, что в период «цветение – развитие первых зерен» при высоте растений свыше 2,7 м в начале августа отмечены имаго западного кукурузного жука (ЗКЖ) с плотностью 31,1 ос/ловушку за 7 суток (ЭПВ 20,0 ос/ловушку за 7 суток), что послужило основанием для проведения защитной обработки инсектицидами.

Установлено, что применение двухкомпонентных препаратов Эфория, КС (лямбда-цигалотрин, 106 г/л + тиаметоксам, 141 г/л) и Органза, КС (ацетамиприд, 100 г/л + лямбда-цигалотрин, 100 г/л) при норме расхода 0,2 л/га с помощью агродрона снижало численность западного кукурузного жука на первые сутки после обработки на 84,2 и 92,6 %; на 7-е сутки – на 93,9 и 96,5 %; на 16-е – на 92,9 и 94,2 % соответственно по сравнению с численностью вредителя до обработки (табл. 6).

Таким образом, установлено, что обработка кукурузы инсектицидами на основе д.в. хлорантранилипрола, 200 г/л (Кораген, КС и Рино-А, КС) при нормах расхода 0,15 и 0,2 л/га с помощью агродрона позволила снизить поврежденность растений гусеницами стеблевого кукурузного мотылька на 83,8-98,4 %. В результате достоверно сохранено зерна культуры – 9,8-11,9 ц/га (8,9-10,8 %) по отношению к варианту без обработки. Биологическая эффективность инсектицидов Органза, КС и Эфория, КС при норме расхода 0,2 л/га в условиях 2024 г. при плотности карантинного объекта в посевах до обработки 31,1 ос/ловушку за 7 суток составила 84,2-96,5 %. Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале инсектицидов, применяемых с помощью агродрона, в защите растений кукурузы от доминантных че-

Таблица 5. Хозяйственная эффективность инсектицидов в отношении стеблевого кукурузного мотылька в посевах кукурузы (производственный опыт, Молодечненский район, гибрид LG 224, 2024 г.)

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га	Урожайность зерна, ц/га	Сохраненный урожай зерна	
			ц/га	%
Контрольный вариант (вариант без обработки)	–	110,2	–	–
Кораген, КС	0,15	120,0	9,8	8,9
	0,2	121,0	10,8	9,8
Рино-А, КС	0,15	120,8	10,6	9,6
	0,2	122,1	11,9	10,8
НСР ₀₅		4,27		

Таблица 6. Биологическая эффективность инсектицидов, применяемых с помощью агродрона, в отношении западного кукурузного жука (производственный опыт, Брестская область, гибрид Катарзис, 2024 г.)

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га	Численность жуков, ос/феромонную ловушку за 7 суток			Снижение численности относительно исходной после обработки по дням учетов, %			
		до обработки	после обработки по дням учета		1	7	16	
			1	7				16
Эфория, КС	0,2	31,1	4,9	1,9	2,2	84,2	93,9	92,9
Органза, КС	0,2		2,3	1,1	1,8	92,6	96,5	94,2

шуккрылых и жесткокрылых вредителей, когда высота растений достигает 1,8 м и более.

Полученные результаты исследований позволят в дальнейшем сформировать ассортимент инсектицидов для защиты кукурузы от доминантных вредителей в период вегетации, применяемых с помощью агродрона.

Заключение

Проведенные исследования по оценке результатов осаждения рабочего раствора при проведении химических обработок посевов кукурузы с применением агродрона позволили сделать следующие выводы:

1. Разработана методика определения качественных характеристик технологического процесса опрыскивания, которая состоит из следующих последовательных этапов:

- подготовительный (сбор и группировка ВЧБ в соответствии со схемой эксперимента);
- предварительный (сканирование ВЧБ и подготовка снимков для программной обработки);
- аналитический (обработка снимков ВЧБ в специализированном программном приложении и определение характеристик осаждения рабочего раствора);
- оценка результатов (обобщение полученных результатов и подготовка заключения по результатам экспериментальных исследований).

2. Выполнена обработка изображений распределения капель рабочего раствора на водочувствительной бумаге при различных параметрах работы агродрона. Установлено, что вариация параметра степени покрытия ВЧБ составляет свыше 250 % в зависимости от яруса расположения ВЧБ на растении, что позволяет предполагать о невозможности оценки данного показателя по критериям, применяемым к наземным штанговым машинам. В этой связи требуется проведение дополнительных исследований по определению численных значений качественных параметров осаждения рабочего раствора при авиационном опрыскивании с применением БПЛА. Средний размер капли при проведении инсектицидных обработок не превышал 150 мкм.

3. На основании результатов мониторинга посевов кукурузы с высокой плотностью яйцекладок стеблевого кукурузного мотылька и имаго западного кукурузного жука в разных регионах страны дана оценка эффективности системных инсектицидов с разными нормами расхода, вносимых агродроном, для защиты культуры в начале июля и начале августа. Эффективность проведенных мероприятий против

стеблевого кукурузного мотылька составила 83,8-98,4 % с сохранением 9,8-1,9 ц/га урожая зерна кукурузы или на 8,9-10,8 % выше по отношению к контрольному варианту. Биологическая эффективность инсектицидов против западного кукурузного жука составила 84,2-96,5 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Experimental Analysis of Flight Altitude for Enhanced Agricultural Drone Spraying Performance / H. Desa, M. Azizi Azizan, N. Ishak, T. Xi Hang // *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*. – June 2023, Vol. 10, № 1. – P. 71-76.

2. Uyar, H. Analyzing Spray Coverage and Deposition Using Spraying Drones in Vineyards / H. Uyar; Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment: Second Cycle Degree (MSc) in Sustainable Agriculture, 2023 – 73 p.

3. Design and performance test of a novel UAV air-assisted electrostatic centrifugal spraying system / H. Hu1, Y. Kaizu, J. Huang, K. Furuhashi, H. Zhang // *Int J Agric & Biol Eng*. – 2022. – Vol. 15, № 5. – P. 34-40.

4. Borisenko, I. B. Qualitative indicators of spraying when using the method of strip chemical treatment of sunflower / I. B. Borisenko, M.V. Meznikova // *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* – 2021. – № 2 (62). – P. 338-347.

5. Мезникова, М.В. Методика оценки качественных показателей опрыскивания на основе анализа тонового изображения объекта в цветовом пространстве файла / М.В. Мезникова // *Вестник аграрной науки Дона*. – 2022. – Т. 15, № 3 (59). – С. 61-71.

6. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. – URL: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/50820500/Publications/Zhu_2010_DepositScan.pdf (date of access: 16.07.2024).

7. Heping, Zhu. A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution / Zhu Heping // *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011. – № 76. – P. 38-43.

8. Техника сельскохозяйственная. Машины для защиты растений. Опрыскиватели. Методы испытаний: ГОСТ 34630-2019; введен 15.03.2021. – М.: Стандартинформ, 2020 – 37 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.08.2025