

*Всероссийский НИИ защиты растений
Россельхозакадемии (ВИЗР)
#Санкт-Петербургский ГУ

СБАЛАНСИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПЕСТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

* #Семенова Н.Н.

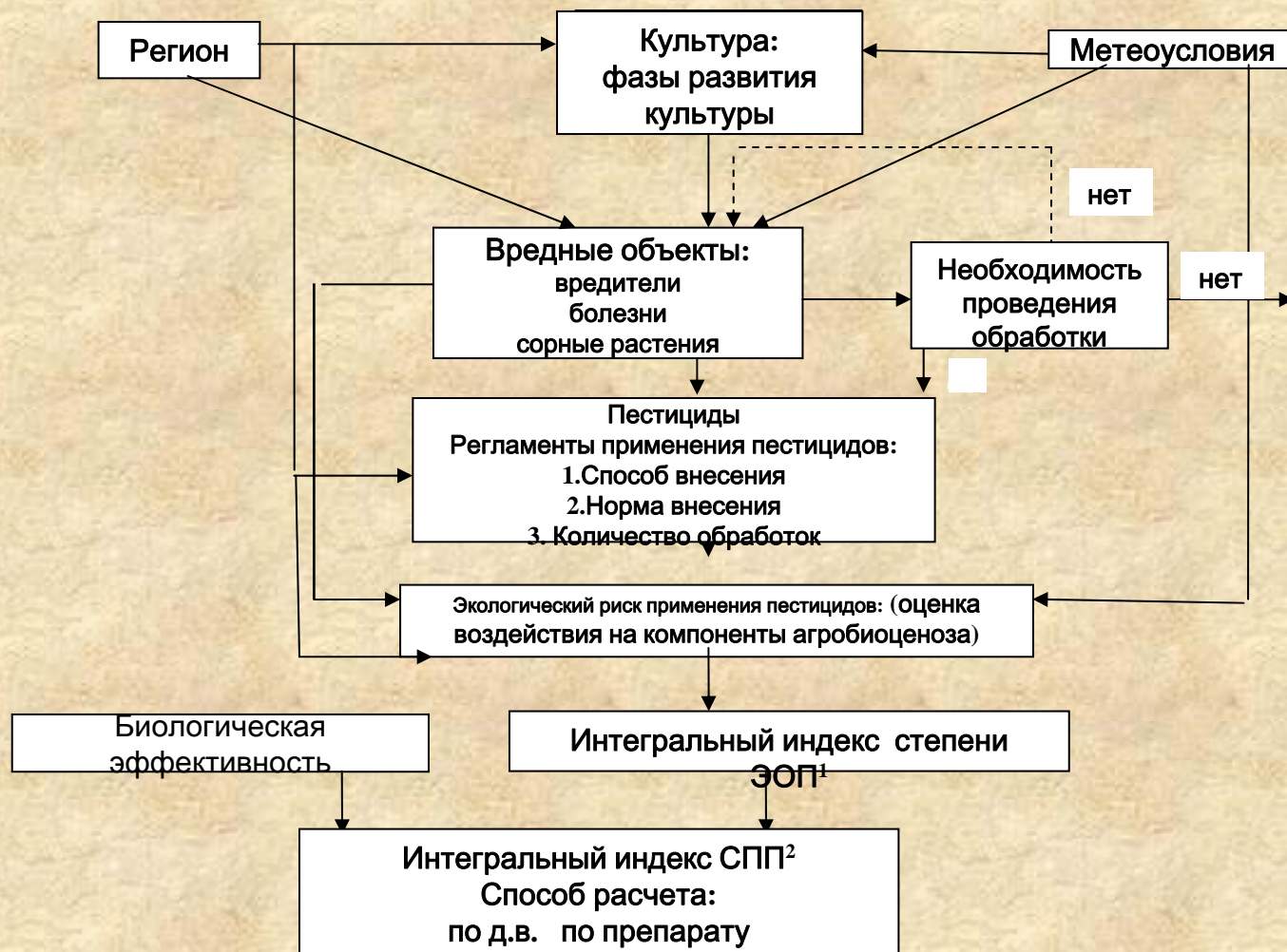
*Сухорученко Г.И.

*Долженко О.В.

*#Зациорский А.С.

- Целью предлагаемой разработки является построение алгоритмов и создание компьютерной программы для решения задачи сбалансированного применения пестицидов.

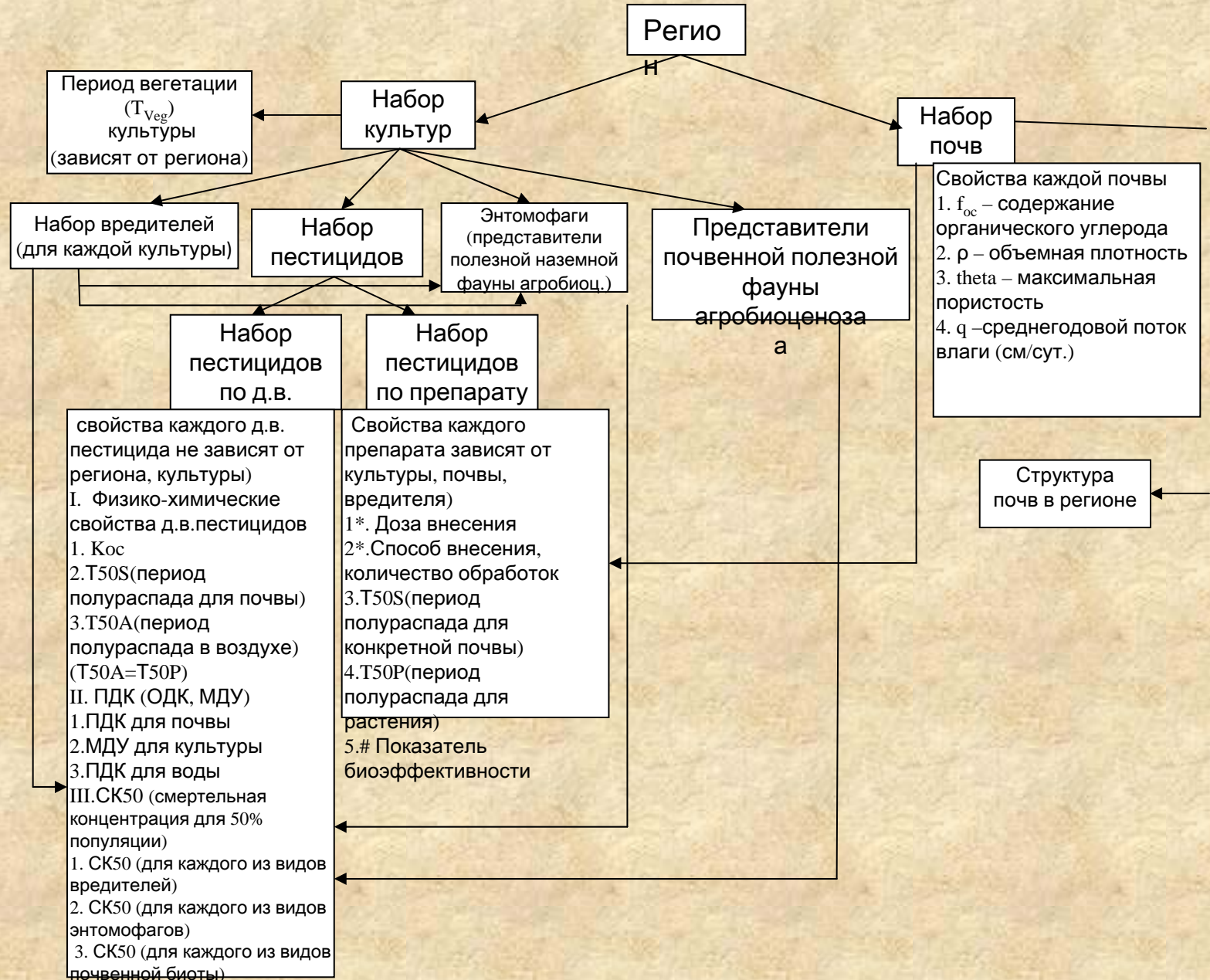
Алгоритм определения интегрального показателя сбалансированности применения пестицидов



ЭОП¹ – экологическая опасность пестицидов

СПП² - сбалансированность применения пестицидов

Структура базы данных



Обобщенная модель миграции и деградации пестицидов в почве

$$\frac{\partial C}{\partial t} + J_{WR} \frac{\partial C}{\partial x} + K_{D\alpha} C^\alpha = 0;$$

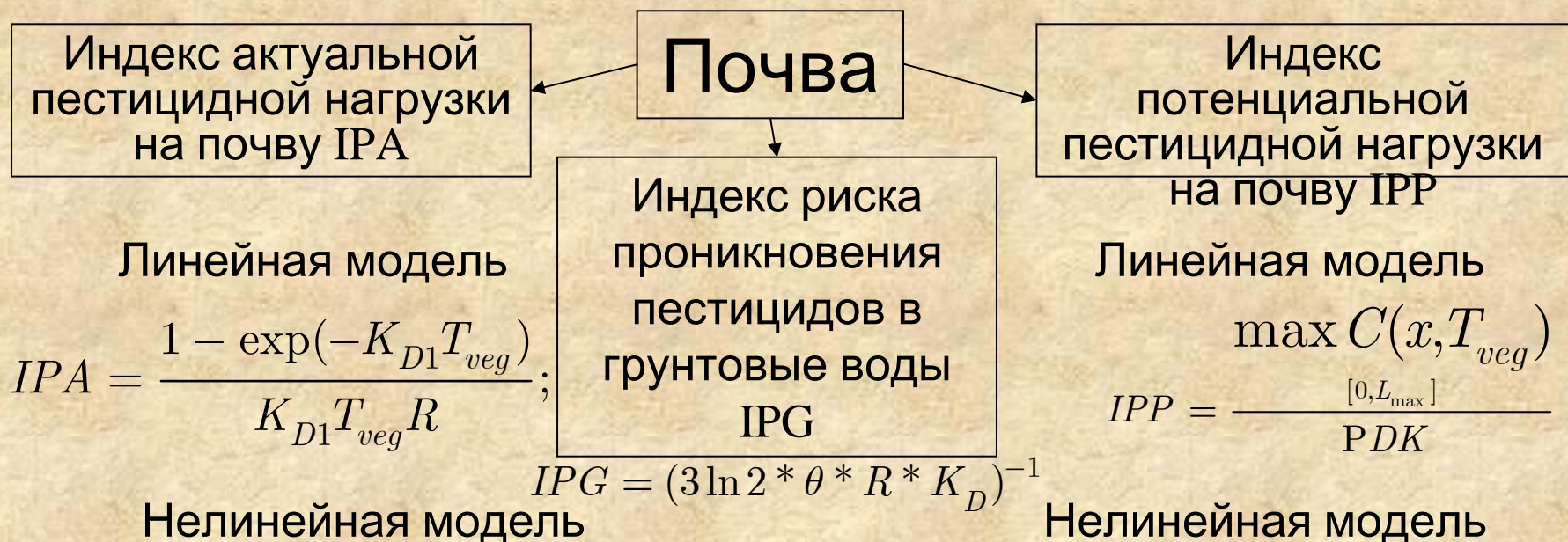
$$J_{WR} = \frac{J_W}{R}; R = 1 + \frac{K_S \rho}{\theta};$$

$$K_S = K_{oc} f_{oc}$$

- K_{oc} - распределительный коэффициент, нормированный по содержанию органического вещества в почве ($\text{м}^3/\text{г}$);
- f_{oc} - содержание органического вещества в почве (в долях);

- C – концентрация пестицида в почве (мг/кг);
- x – глубина проникновения пестицида в почву; t – время;
- K_{D1} – коэффициент, обратно пропорциональный периоду полураспада пестицида ($\alpha=1$) (1/сут.);
- $K_{D\alpha}, K_{D1}$ - относительные скорости разложения пестицида в нелинейном и линейном случаях;
- J_W - объемный поток влаги (см/сут.);
- R – безразмерный коэффициент, характеризующий замедление процесса миграции пестицида из-за процесса сорбции;
- K_S - распределительный коэффициент в линейной изотерме сорбции ($\text{г}/\text{г}$);
- ρ, θ – объемная плотность и максимальная порозность почвы соответственно;
- α – показатель неоднородности

Частные индексы нагрузки пестицидов на почву агробиоценоза



$$IPA = \frac{S}{R} \frac{1 - (1 - \frac{(1 - \alpha)^{\frac{2-\alpha}{1-\alpha}}}{S})}{(2 - \alpha)} 10^3;$$

$$IPP = \frac{Dozas}{PDK} (1 - \frac{(1 - \alpha)^{\frac{1}{1-\alpha}}}{S})$$

$$Dozas = \frac{Doza}{\rho h} 10^{-3} \quad \text{мг / кг}; \quad S = \frac{Dozas^{1-\alpha}}{T_{veg} K_{D\alpha}}$$

Doza - количество вносимого пестицида (г/га)

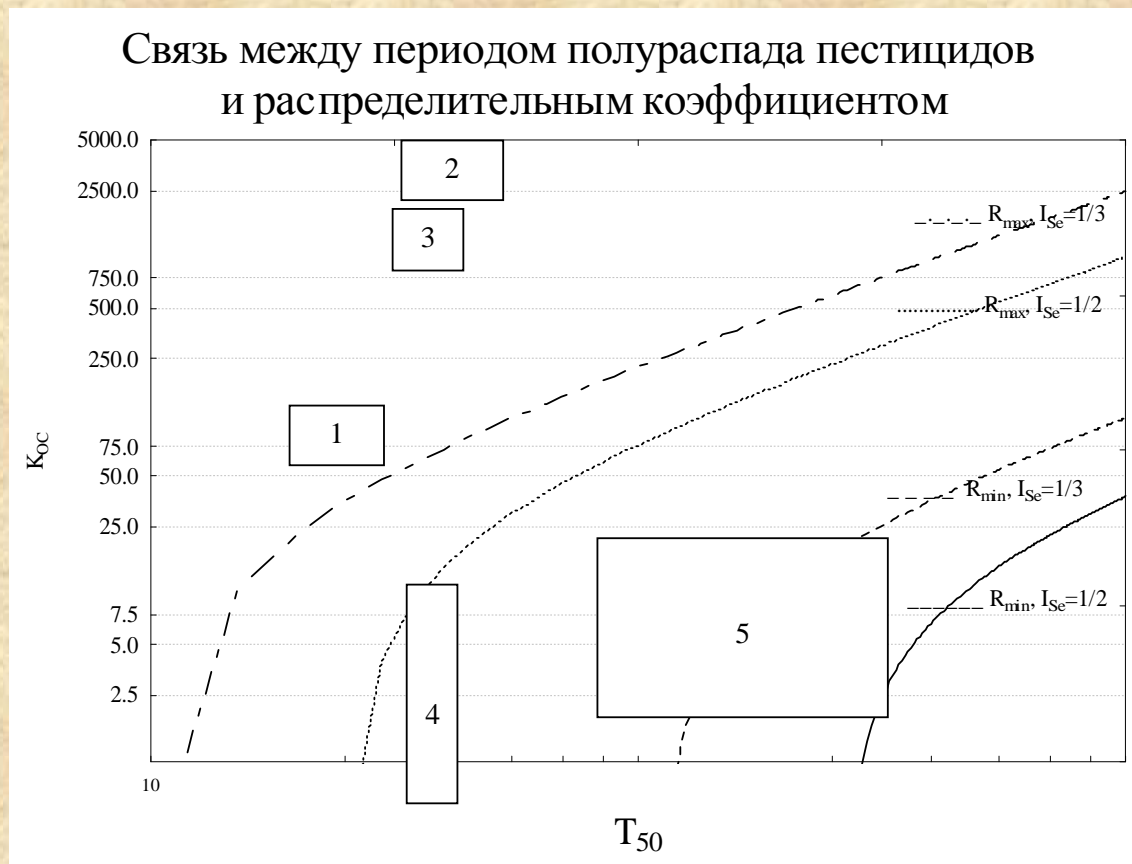
Tveg — длина вегетационного периода (сут)

PDK - предельно допустимая концентрация (мг/кг)

Lmax - максимальная глубина проникновения пестицида (см)

h - глубина заделки препарата (см),

Области существования сбалансированных по выбранному критерию норм расхода пестицидов



1. Номера соответствуют следующим инсектицидам:

1. Диазинон 2. Хлорпирифос 3. Фипронил 4. Тиаметоксам 5. Имидаклоприд

2. Минимальный и максимальный риск проникновения пестицидов в грунтовые воды для почв:

R_{min} : $f_{oc}=3\%$; $\rho=1,5$ г см⁻³; $ln=20$ см; $J_w=0,14$ см/сут; $\theta=0,5$ см³/см³;

R_{max} : $f_{oc}=0,5\%$; $\rho=1,2$ г см⁻³; $ln=40$ см; $J_w=0,28$ см/сут; $\theta=0,2$ см³/см³;

3. Показатель начальной токсичности пестицида: I_{se}

Расчет норм расхода инсектицидов диазинон и хлорпирифос под посевами кукурузы и картофеля при борьбе с проволочником (кг/га)

Пестицид	Типы почв							
	Подзолистая песчаная		Дерново- подзолистая среднесугли- нистая		Серая лесная легкоглини- стая		Чернозем вы- щелоченный тяжелосугли- нистый	
	Куку- руза	Карто- фель	Куку- руза	Карто- фель	Куку- руза	Карто- фель	Куку- руза	Карто- фель
Диази- нон	1.60	1.74	2.64 (1.25)*	2.75 (3)	2.8	2.9 (4)	4.48 (3)	4.66 (5)
Хлорпи- рифос	0.65	0.69	0.87 (0.75)	0.9 (1.25)	0.7	0.72	1.15 (1.25)	1.2 (3)

* - в скобках указана рекомендованная доза (Андреев, 1982).

Обобщенная модель воздействия пестицида на энтомофагов

$$\begin{cases} \frac{dB}{dt} = \left(r - \frac{1}{\tau} \ln \left(1 + \left(\frac{C(t)}{CK_{50}} \right) \right) \right) B, \\ \frac{dC}{dt} = -K_D C, \\ B(0) = B_0, C(0) = C_0 \end{cases}$$

r – относительная скорость их роста в естественных условиях (1/сут.);

Таблица1. Время восстановления численности энтомофагов в сутках при умеренной естественной скорости увеличения их плотности, $r=0.035$ (1/сут.)

$K_{SAF} \backslash K_D$	0.5	0.3	0.2	0.1	0.02
1	24	>30	-	-	-
3	8	13	19	>30	>30
10	1	3	5	8	13

Таблица2. Время восстановления численности энтомофагов в сутках при медленной естественной скорости увеличения их плотности, $r=0.01$ (1/сут.)

$K_{SAF} \backslash K_D$	0.5	0.3	0.2	0.1	0.02
1	>30	>30	-	-	-
3	29	>30	>30	>30	-
10	8	15	23	>30	-

Частные индексы нагрузки пестицидов на энтомофауну агробиоценоза (Semenova et al, 2003)

$\ln(B_0/B) \approx t/(\tau K_{SAF})$ при $K_{SAF} > 1$ и

$\ln(B_0/B) \approx (t/\tau)(1/K_{SAF} + \ln K_{SAF})$ при $K_{SAF} < 1$.

где B - биомасса или число особей на единичной площади агробиоценоза (B_0 - в момент обработки);

$\frac{CK_{50}}{C_0} = K_{SAF}$ - называется коэффициентом безопасности и служит критерием для классификации инсектицидов по их начальному воздействию;

τ – период экспозиции (сут.), в течение которого гибнет 50% популяции энтомофагов под воздействием дозы CK_{50} ; C_0 - производственная концентрация пестицида

Индекс нагрузки пестицидов на растение

$$K_{pc} = \frac{k_{cm}^0 \exp(-0,23k_S M_V) K_{cw}}{(1 + r_{cu} \rho_{wax} \rho_{dep}^{-1} K_{cw})}$$

- где ρ_{wax} - поверхностная плотность эпикутикулярных восков (мкг/см²);
- ρ_{dep} - поверхностная плотность внешнего отложения пестицида, (мкг/см²);
- K_{pc} - относительная скорость переноса пестицидов через кутикулу;
- k_{cm}^0 , k_S - коэффициенты селективности и мобильности;
- M_V - молярный объем пестицида;
- K_{cw} - параметр, определяемый по октаноловому числу K_{ow}

Классификация пестицидов по скорости проникновения в листья растений через кутикулу в зависимости от октанолового числа K_{ow}

1. $\lg K_{ow} > 4;$

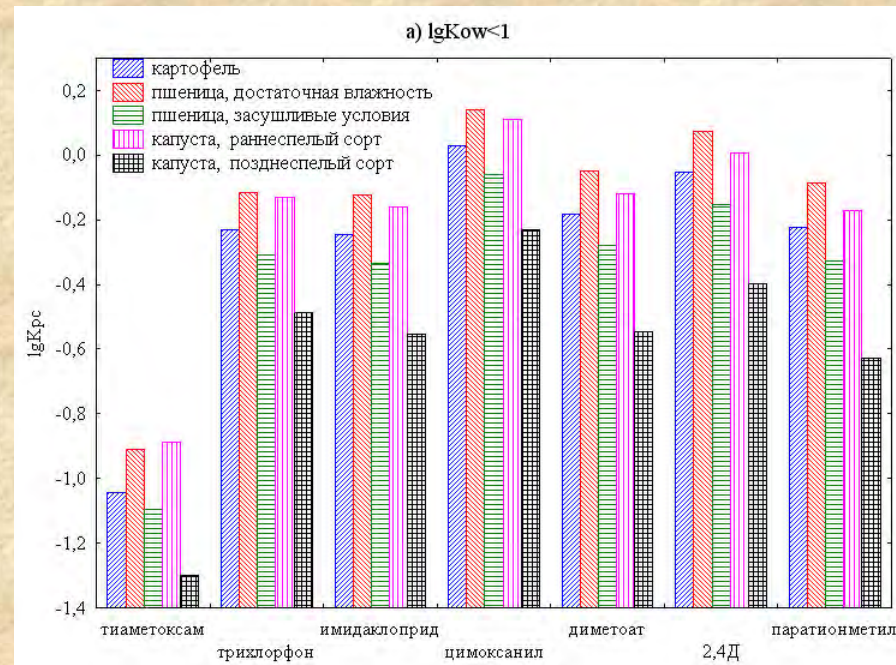
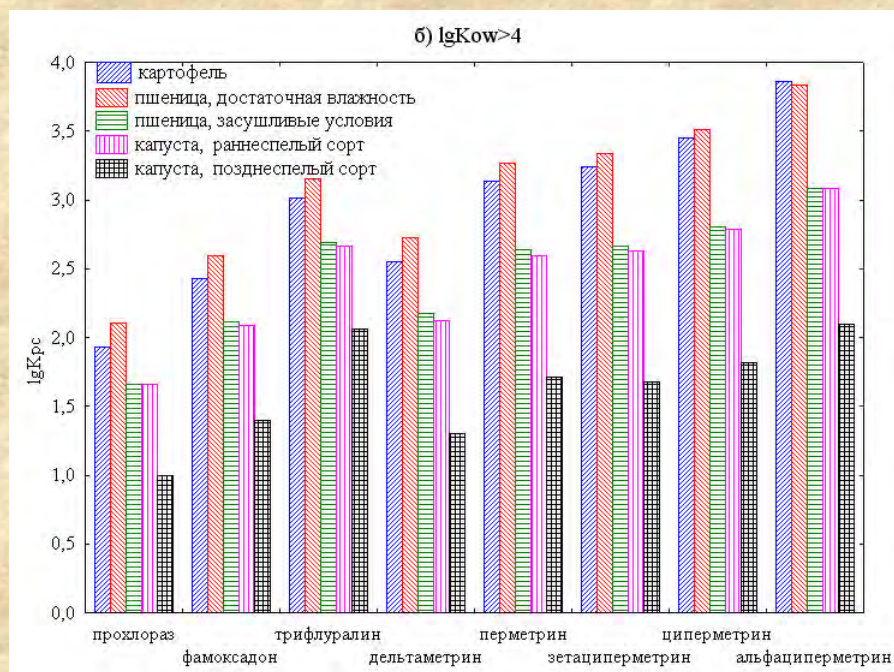
$1 < \lg K_{pc} < 4;$

2. $\lg K_{ow} < 1;$

$-1,4 < \lg K_{pc} < 0,2;$

3. $1 < \lg K_{ow} < 4;$

$0,2 < \lg K_{pc} < 2,4;$



Метод анализа иерархий (МАИ) для оценки экологической опасности пестицидов

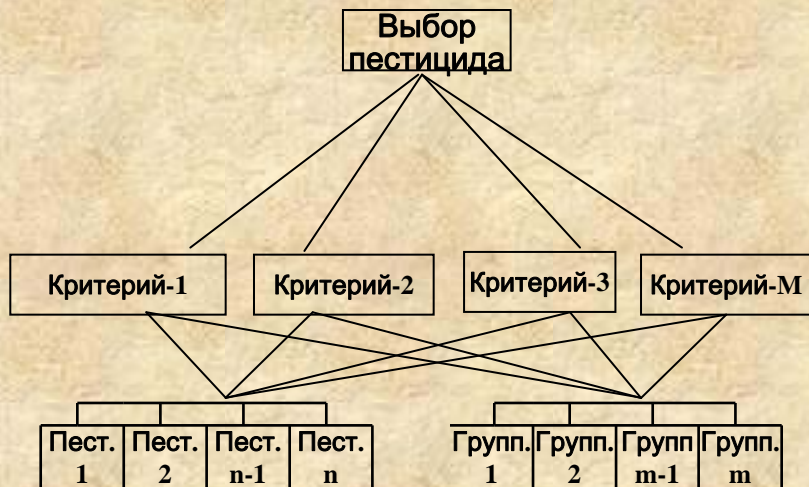


Рис. 1. Иерархия МАИ для выбора наиболее безопасного пестицида или группы пестицидов

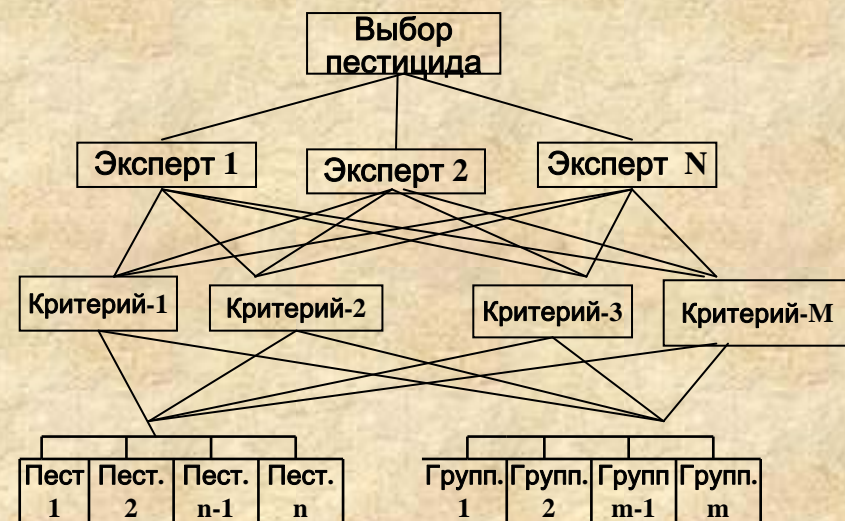


Рис. 2. Модифицированная иерархия с учетом мнения экспертов

Сравнение критериев экологической опасности пестицидов относительно интегральной оценки (приоритет защита почвы)

	ISOIL	IPLANT	IENT(over/under soil)	ITOX
ISOIL			3	2
IPLANT	0.33		1	0.5
IENT(over/un der soil)	1		2	1
ITOX	0.25	0.5	0.5	1

Ранжирование инсектицидов различных химических классов по степени их экологической опасности

Инсектицид		Промежуточные индексы в баллах с учетом весовых коэффициентов					Интегральный индекс в баллах		
Действующее вещество	Препарат	Приоритеты					С учетом приоритетов. в зависимости от обработки	Без учета приоритетов	
		Охрана почв - влияния биотических факторов	Охрана продукции от загрязнения	Сохранение полезных членистоногих		Токсическая нагрузка			
				почвенная биота	наземная энтомо-фауна		Внесение в почву	Наземная обработка	
Диазинон	Базудин Г (100г/кг)	6.94	7.25	6.94	7.37	5.41	6.64	6.74	7.65
Хлорпирифос	Дурсбан Г (100г/кг)	5.80	5.60	5.87	6.37	5.61	5.72	5.85	6.30
	Ду Дурсбан КЭ (480г/л)	6.76	5.88	6.76	5.99	5.84	6.31	6.12	6.75
Имидаклоприд	Конфидор Экстра ВДГ (700г/кг)	7.12	6.74	7.12	6.2	5.96	6.74	6.51	7.20
	Конфидор ВРК (200 г/л)	7.64	7.78	7.64	7.14	6.49	7.39	7.26	8.10
Имидаклоприд + пенцикурон	Престиж КС (140+150г/л)	6.49	7.45	6.49	7.52	6.52	6.74	7.00	7.65
Тиаметоксам	Актара ВДГ (250г/кг)	8.00	8.07	8.00	7.81	6.74	7.70	7.66	8.55
	Круйзер КС (350г/л)	6.94	6.93	6.94	7.05	7.08	6.97	7.00	7.20
Фипронил	Регент ВДГ (700г/кг)	7.43	6.86	7.43	7.00	7.29	7.25	7.15	7.65
Тефлутрин	Форс (15г/кг)	6.89	7.08	6.89	7.50	7.38	7.06	7.21	7.65
Дельтаметрин	Децис Профи ВДГ (250г/кг)	6.36	6.25	6.36	6.01	7.69	6.67	6.58	6.75
Хлорантрелипрол	Кораген КС (200г/л)	8.36	8.36	8.36	8.48	8.00	8.27	8.30	9.00

Шкала опасности: $8 \leq \Sigma$ – не опасен; $7 \leq \Sigma < 8$ — мало опасен; $6 \leq \Sigma < 7$ – средне опасен; $\Sigma < 6$ - опасен.

Ранжировка наиболее применяемых групп пестицидов по степени экологической опасности для четырех сценариев оценки

СИТУАЦИЯ

Сценарий оценки	$ИС=(\lambda-n)/(n-1)$	$ОС=ИС/СИ$	λ
Равновесный	0	0	4
Охрана почв	0,11	0,12	4,33
Сан.гигиен.	0,09	0,1	4,27
Защита энтом.	0,08	0,09	4,24

П — ПИРЕТРОИДЫ; ФОС — ОРГАНОФОСФАТЫ;
 ФП — ФЕНИЛПИРАЗОЛЫ; Н - НЕОНИКОТИНОИДЫ

1) Равновесный сценарий:

2) Санитарно-

гигиенический

$Н < ФП < ФОС < П$

$Н < ФОС < ФП < П$

2) Охрана почв

4) Защита энтомофауны

$ФП < П < ФОС < Н$

$Н < ФП < ФОС < П$

ИС- индекс согласованности ($ИС < 0,1$);

ОС — отношение согласованности; СИ — случайный индекс (при $n=3$)

Выводы

I. Алгоритм, заложенный в программу PESTOPTIMA, позволяет осуществить синтез качественных (экспертный подход) и количественных (детерминированно-статистический подход) оценок, необходимых при определении сбалансированного применения пестицидов.

II. Интегрированная информационная модель локальной оценки экологической опасности пестицидов в агробиоценозах сельскохозяйственных культур PESTOPTIMA может быть использована

1. для проведения зональной классификации ассортимента пестицидов;

2. для определения, сбалансированных по показателям экологической безопасности и биологической эффективности.

3. для дифференциации норм расхода пестицидов в точном

Литература

Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва. Радио и связь. 1993. -278с.

Novozhilov K.V., Petrova T.M., Semenova N.N., Solomina T.V. Modeling of foliar uptake and degradation of pesticides using crop growth model.

1.Mathematical model description// Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz.. 1995. Bd.30, №2, P.165-181

Семенова Н.Н.Разработка индексов экологической опасности применения пестицидов для почв агроценозов // Агро XXI. 2007. №4-6, С.29-34.

Семенова Н.Н., Новожилов К.В., Сухорученко Г.И. Оценка локального риска применения пестицидов с использованием метода анализа иерархий// Вестник защиты растений. 2012. № 3, С. 3-9.

Семенова Н.Н., Новожилов К.В., Петрова Т.М., Терлеев В.В. Детерминированные модели поведения пестицидов в почве. Методология построения, структура, принципы, использования.- СПб.- Пушкин: ВИЗР РАСХН, 1999.- 92с

Semenova N.N., Novozhilov K.V., Petrova T.M. Some approaches to the simulation modeling of side effects of pesticides in soil// Crop Protection Conference: Conf. rep. 01, (St.Peterburg - Pushkin, may 28-30, 2002); Swedish Un. of Agr. Sciences, Department of ecology and crop production science.-