

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА  
И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 504.06:632.93:633.1

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_1\_53

**Оценка эколого-токсикологической опасности применения пестицидов**Ирина Васильевна Сластя<sup>1✉</sup><sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия<sup>1</sup>slasty@rgau-msha.ru✉

**Аннотация.** Представлены результаты аналитической работы, проведенной с целью получения эколого-токсикологической оценки опасности применения пестицидов, в ходе выполнения которой применяли комплексный показатель, включающий норму расхода препарата, среднюю смертельную дозу острой токсичности при введении в желудок, период полураспада в почве, коэффициент хронической токсичности для теплокровных с учетом отдаленных эффектов ( $K_{дсд}$ ), определяемый в зависимости от величины допустимой суточной дозы ( $ДСД$ ), а также коэффициент хронической токсичности для водных организмов ( $K_{NOEL}$ ), определяемый в зависимости от величины  $NOEL$  для наиболее чувствительной группы гидробионтов. Расчет проведен для фунгицидов и инсектицидов, наиболее часто используемых при возделывании зерновых культур и разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Использованный показатель позволяет ранжировать пестициды по степени опасности, распределить их по четырем группам, а также выделить главные факторы, определяющие уровень опасности. В первую группу отнесены пестициды, обладающие сразу несколькими неблагоприятными профилями безопасности (например, инсектицид хлорпирифос). Применение таких пестицидов должно быть ограниченным, и они, по возможности, должны заменяться менее опасными. Во вторую группу включены инсектициды фипронил, лямбда-цигалотрин, гамма-цигалотрин, имидаклоприд и фунгицид флутриафол. Пестициды первой и второй групп должны быть объектами постоянного мониторинга в компонентах окружающей среды. Остальные инсектициды и фунгициды отнесены к третьей и четвертой группам опасности. Так как одним из факторов, определяющих опасность применения пестицидов, является доза, вносимая на гектар, основными требованиями, предъявляемыми к новым пестицидам, должны быть низкие нормы расхода, высокая селективность и низкая стойкость в окружающей среде. Технологические приемы, позволяющие сократить нормы расхода пестицидов без снижения эффективности против вредных объектов, например использование в качестве вспомогательных веществ соединений кремния, будут способствовать уменьшению вредного воздействия пестицидов.

**Ключевые слова:** пестициды, классификация пестицидов, пестицидная нагрузка, риски загрязнения, эколого-токсикологические критерии, мониторинг окружающей среды

**Для цитирования:** Сластя И.В. Оценка эколого-токсикологической опасности применения пестицидов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1(76). С. 53–60. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_1\\_53-60](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_53-60).

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,  
PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS (BIOLOGICAL SCIENCES)

Original article

**Assessment of environmental health and toxicological hazard of pesticides**Irina V. Slasty<sup>1✉</sup><sup>1</sup>Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia<sup>1</sup>slasty@rgau-msha.ru✉

**Abstract.** The results of the analytical investigation carried out in order to obtain an ecological and toxicological assessment of pesticides hazard, during which an integrated index was used comprising consumption rate of the preparation, median lethal dose of acute oral toxicity at stomach preparation administration, half-life period in the soil, chronic toxicity coefficient for warm-blooded animals taking into account developmental toxicity ( $K_{AD}$ ) and depending on the value of acceptable daily intake ( $ADI$ ), as well as chronic toxicity coefficient to aquatic organisms ( $K_{NOEL}$ ) depending on the no-observed effects level ( $NOEL$ ) value for the most sensitive group of hydrobionts. The calculation was carried out for fungicides and insecticides most commonly used in the cultivation of grain crops and approved for use on the territory of the Russian Federation. The proposed integrated index makes it possible to rank pesticides according to the degree of hazard, distributing them into four groups, as well as to identify the main factors determining the level of hazard. The first group includes pesticides that have several unacceptable safety profiles (for example, the insecticide chlorpyrifos). The use of such pesticides should be limited, and they should be replaced by less hazardous ones, as far as feasible. The second group includes such insecticides as fipronil, lambda-cyhalothrin, gamma-cyhalothrin, imidacloprid, and flutriafol fungicide. Pesticides

of the first and second groups should become objects of constant monitoring in natural environmental locations. The remaining insecticides and fungicides are attributed to the third and fourth hazard groups. Since one of the factors determining the hazard level of pesticides usage is the dose applied per hectare, the main requirements applicable for new pesticides should be low consumption rate, high selectivity and low resistance in the environment. Working practices that make it possible to minimize consumption rates of pesticides without reduction in effectiveness against pests, for example, the use of silicon compounds as formulation components, will contribute greatly to reduce negative impact of pesticides application.

**Keywords:** pesticides, classification of pesticides, pesticide load, pollution risks, ecological and toxicological criteria, environmental monitoring

**For citation:** Slastyia I.V. Assessment of environmental health and toxicological hazard of pesticides. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(1):53-60. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2023\\_1\\_53-60](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_53-60).

**З**ащита растений является одной из важнейших отраслей сельскохозяйственной науки. По оценкам экспертов, ежегодно потенциальный мировой урожай продовольственных культур снижается примерно на 20–27% из-за различных вредителей, развития болезней растений, а также сорняков, поэтому роль защиты растений трудно переоценить. В мире насчитывается около 1,5 млн вредителей, на территории России встречается около 100 тыс. видов. Болезней культурных растений насчитывается около 35 тыс., из них 300 вирусных.

Защита растений основывается на принципах регулирования численности вредных организмов в агрофитоценозах, удержании ее на хозяйственно безопасном уровне. основополагающая задача защиты растений – не просто уничтожить вредные организмы, но также вовремя предусмотреть и устранить их появление и, по возможности, уменьшить масштабы распространения и таким образом повысить рентабельность сельскохозяйственного производства.

Одним из средств повышения эффективности сельскохозяйственного производства является химический способ борьбы с сорняками, болезнями, вредителями культурных растений, который способствует значительному сокращению потерь в сельском хозяйстве. Затраты на его применение быстро окупаются за счет повышения урожайности, увеличения сроков хранения растительной продукции, улучшения внешнего вида производимой сельскохозяйственной продукции.

Химические средства защиты растений подразумевают применение различных ядохимикатов. Все ядохимикаты, применяемые для защиты растений, получили название пестициды (в переводе с латыни – убивающие заражное). Пестициды классифицируются по химическому составу, объектам применения, а также по характеру действия и способам проникновения в организм. Обладая высокой эффективностью, применение пестицидов связано с высокими рисками загрязнения объектов окружающей среды и опасностью для человека и полезной флоры и фауны. Такие свойства пестицидов, как высокая токсичность, персистентность в окружающей среде, способность переноситься по пищевым цепям, мигрировать в сопредельные среды – водные объекты, почву, воздух, накапливаться в продукции и при постоянном применении вызывать появление устойчивых форм вредных организмов, требуют обоснованности и строгой регламентации их использования в сельском хозяйстве.

В основе регламентации применения пестицидов лежит количественная оценка их опасности для человека и природных систем. Оценка опасности пестицидов для человека и теплокровных проводится по токсиколого-гигиеническим критериям, учитывающим такие показатели, как средние смертельные дозы при введении в желудок и нанесении на кожу, средняя смертельная концентрация в воздухе, характеризующие соответственно оральную, кожно-резорбтивную и ингаляционную токсичность вещества, коэффициент функциональной кумуляции, стойкость пестицида в почве (время разложения на нетоксичные компоненты), а также наличие специфических эффектов: мутагенного, канцерогенного, тератогенного, эмбриотоксического, гонадотропного, аллергенного. Эти токсиколого-гигиенические критерии в свою очередь лежат в основе разработки гигиениче-

ских нормативов: допустимой суточной дозы вещества для человека и предельно допустимого содержания пестицидов в сельскохозяйственной продукции и объектах окружающей среды. Однако для защиты компонентов экосистем, полезной фауны и флоры санитарно-гигиенических критериев недостаточно, поэтому для комплексной оценки опасности пестицидов для окружающей среды необходимо использовать эколого-токсикологические критерии, включающие помимо показателей токсичности для теплокровных и персистентности в почве показатели, учитывающие поведение пестицида в окружающей среде и влияние на нецелевые организмы.

М.Н. Соколовым и Б.С. Стрекозовым [10] был предложен подход, заключающийся в балльной оценке каждого из предложенных ими одиннадцати показателей по предлагаемым шкалам и определении класса опасности пестицидов (всего три класса) по суммарному значению баллов. По мнению В.П. Васильева, В.Н. Кавецкого и Л.И. Бублика [1, 2], этот подход, несмотря на достаточно большое число учитываемых показателей, все же недостаточно отражал опасность пестицидов для здоровья человека. Они предложили оценивать опасность пестицидов на основе четырех эколого-токсикологических показателей, два из которых в наибольшей степени характеризуют опасность пестицида для человека (категория А) – средняя смертельная доза при введении в желудок ( $ЛД_{50}$ ) (главный показатель) и коэффициент функциональной кумуляции ( $K_{кум}$ ), а другие два – опасность пестицида для окружающей среды (категория Б) – стойкость в почве ( $T_{50}$  – время полураспада на нетоксичные компоненты) (главный показатель) и средняя смертельная концентрация для рыб ( $СК_{50}$ ). На основании этих критериев ими была предложена эколого-токсикологическая классификация пестицидов, включающая четыре класса опасности, и метод оценки опасности применения пестицидов и прогнозирования загрязнения экосистем в конкретных почвенно-климатических условиях. Относительную степень опасности применения того или иного пестицида с учетом нормы его расхода ( $Co$ ) авторы предлагают определять по формуле

$$Co = P \cdot \frac{T_{50}}{ЛД_{50}}, \quad (1)$$

где  $P$  – норма расхода препарата по действующему веществу, кг/га или г/га;

$T_{50}$  – период полураспада в почве на нетоксичные компоненты;

$ЛД_{50}$  – средняя смертельная доза острой токсичности при введении в желудок.

Известны также подходы к оценке опасности пестицидов на основе их токсичности для нецелевых индикаторных видов [13]. Ввиду высокой токсичности пестицидов для гидробионтов предлагались методы оценки их опасности только для водных организмов, основанные на ранжировании по величине средней смертельной концентрации острого воздействия, максимальной недеиствующей концентрации ( $NOEL$ ) и коэффициента биоаккумуляции [3, 4].

Некоторые подходы к определению опасности пестицидов основываются на оценке риска их применения с использованием не только показателей токсичности, стойкости, биоаккумуляции, но и прогнозируемой концентрации вещества в среде или уровня потребления [3, 4, 12, 15], в том числе с использованием математических моделей прогнозирования концентрации пестицидов в поверхностных водоемах [3, 4] и почве с оценкой степени риска пестицидов для почвы, воздуха, поверхностных и грунтовых вод [16].

Существующие в настоящее время подходы к оценке опасности пестицидов, несмотря на имеющееся методологическое разнообразие, характеризуются слабой «конвергенцией» (совпадения) и недостаточной степенью комплексности [11].

Эколого-токсикологическую оценку рисков применения пестицидных обработок выполняли с помощью относительного показателя опасности, представляющего собой

модификацию предложенного В.П. Васильевым, В.Н. Кавецким и Л.И. Бубликом [1, 2] критерия, включающего только три показателя:

- норму расхода;
- среднесмертельную дозу острого действия;
- период полураспада в почве.

Нами предлагается помимо острой токсичности вещества для теплокровных учитывать опасность и при длительном поступлении вещества в организм, которая может проявляться в том числе отдаленными специфическими эффектами.

Наиболее доступным показателем, установленным для всех пестицидов, который должен отражать эту опасность для человека, является допустимая суточная доза (ДСД), устанавливаемая на основе порогов хронического действия и возможных отдаленных эффектов.

Одними из наиболее чувствительных организмов к действию пестицидов являются гидробионты, поэтому вторым критерием, который следует учесть, является токсичность для водных организмов. Мы предлагаем использовать показатель *NOEL* для учета опасности хронического воздействия на наиболее чувствительную группу гидробионтов. Для учета этих показателей в зависимости от их величины мы применили коэффициенты  $K_{ДСД}$  и  $K_{NOEL}$  (табл. 1), дополнив ими показатель опасности, предложенный В.П. Васильевым, В.Н. Кавецким и Л.И. Бубликом.

Относительную степень опасности применения пестицидов ( $C_o$ ) можно оценить по формуле

$$C_o = P \cdot \frac{T_{50}}{ЛД_{50}} \cdot K_{ДСД} \cdot K_{NOEL} \quad (2)$$

Относительная опасность применения того или иного пестицида будет зависеть как от нормы его расхода на гектар по действующему веществу, так и от его удельной относительной опасности ( $C_{yo}$ ), определяемой соотношением

$$C_{yo} = \frac{T_{50}}{ЛД_{50}} \cdot K_{ДСД} \cdot K_{NOEL} \quad (3)$$

**Таблица 1. Коэффициенты опасности, учитывающие хроническую токсичность для теплокровных и гидробионтов по показателям ДСД и *NOEL***

ДСД, мг/кг	$K_{ДСД}$	<i>NOEL</i> , мг/л	$K_{NOEL}$
1 и более	0,5	Десятые доли	0,5
Десятые доли	1	Сотые доли	1
Сотые доли	2	Тысячные доли	2
Тысячные доли	3	Десятитысячные доли	3
Десятитысячные доли и менее	4	Стотысячные доли	4
		Миллионные доли	5

Нами проведен расчет показателей относительной эколого-токсикологической опасности фунгицидов и инсектицидов, наиболее часто используемых при возделывании зерновых культур и разрешенных к применению на территории Российской Федерации [5].

Источником данных о свойствах пестицидов служила база данных PPDB (Pesticide Property Data Base) [14].

Использование большего количества учитываемых показателей в расчете относительной эколого-токсикологической опасности позволяет получить заметные различия в значениях и на основании их выделить четыре группы пестицидов (табл. 2).

Таблица 2. Показатели относительной эколого-токсикологической опасности инсектицидов

Инсектицид	Норма расхода, г д.в./га	$K_{дсд}$	$K_{ноел}$	Удельная относительная опасность, $S_{уо}$	Группа удельной относительной опасности	Относительная опасность, $S_o$	Группа относительной опасности
Хлорпирифос (ОР)	384	3	4	70,2	1	26950	1
Фипронил (ОР)	24	4	3	18,5	2	444	2
Лямбда-цигалотрин (ОР)	7,5	3	5	47,0	2	352	2
Гамма-цигалотрин (ОР)	36	3	5	7,31	3	263	2
Имидаклоприд (ОС)	60	1	2	2,86	3	171	2
Имидаклоприд (ОР)	49	1	2	2,86	3	140	2
Клотианидин (ОС)	35	1	2	2,18	3	76,3	3
Циперметрин (ОР)	75	2	4	0,62	4	46,2	3
Клотианидин (ОР)	17,5	1	2	2,18	3	38,2	3
Альфа-циперметрин (ОР)	10	2	3	3,51	3	35,1	3
Фенитротрион (ОР)	400	3	3	0,07	4	29,5	3
Тау-флювалинат (ОР)	48	3	4	0,61	4	29,3	3
Тиаметоксам (ОР)	175	2	1	0,16	4	27,1	3
Бета-циперметрин (ОР)	10	3	3	2,62	3	26,2	3
Диметоат (ОР)	400	3	2	0,06	4	24,5	3
Дельтаметрин (ОР)	7,5	1	4	1,30	3	9,72	3
Малатион (ОР)	285	2	3	0,001	4	0,25	4

Примечание: (ОР) – опрыскивание растений, (ОС) – обработка семян.

Из рассмотренных инсектицидов наибольшую опасность представляет применение хлорпирифоса, показатель относительной эколого-токсикологической опасности которого очень высокий – он многократно выше, чем других пестицидов. Это связано как с высокой нормой его расхода, так и с его высокой удельной относительной опасностью, обусловленной длительной персистентностью в почве и высокой токсичностью как для теплокровных, так и для гидробионтов. Он отнесен к первой группе опасности ( $S_o > 1000$ ,  $S_{уо} > 50$ ).

Высокие значения показателя  $S_o$  имеют фипронил, лямбда-цигалотрин, гамма-цигалотрин и имидаклоприд – они могут быть отнесены ко второй группе опасности ( $S_o = 100–1000$ ). При этом у лямбда-цигалотрина и фипронила более высокие значения удельной относительной опасности: первый – высокотоксичен для гидробионтов, второй – для человека, оба – достаточно стойкие в почве (период полураспада более 6 месяцев), по удельному показателю опасности они могут быть отнесены ко второй группе (от 10 до 50), а гамма-цигалотрин и имидаклоприд – к третьей (от 1 до 9,9). Остальные инсектициды, у которых значения  $S_o < 100$ , могут быть отнесены к третьей группе опасности, за исключением малатиона, который отнесен к четвертой группе.

Большинство фунгицидов менее опасны, чем инсектициды, особенно для насекомых (классы опасности для пчел установлены отдельно). Среди рассмотренных фунгицидов ко второй группе опасности можно отнести только флутриафол (табл. 3), что прежде всего связано с очень высокой персистентностью в почве. В четвертую группу попадают беномил, метрафенон, флудиаксонил, а также карбендазим, используемый для обработки семян. При опрыскивании растений в связи с более высокой нормой расхода возрастает и показатель относительной опасности, что дает основание отнести карбендазим к третьей группе. Остальные из рассмотренных фунгицидов также относятся к третьей группе.

Таблица 3. Показатели относительной эколого-токсикологической опасности фунгицидов

Фунгициды	Норма расхода, г д.в./га	$K_{дсд}$	$K_{МОЕЛ}$	Удельная относительная опасность, $S_{уо}$	Группа удельной относительной опасности	Относительная опасность, $S_{о}$	Группа относительной опасности
Флутриафол (ОР)	125	2	1	2,78	3	348	2
Ципроконазол (ОР)	60	2	1	0,81	4	48,7	3
Триадимефон (ОР) – против болезней пшеницы	250	2	1	0,17	4	43,3	3
Триадимефон (ОР) – против болезней ячменя	125	2	1	0,17	4	21,7	3
Пропиконазол (ОР)	125	2	0,5	0,13	4	16,3	3
Тетраконазол (ОР)	100	3	0,5	0,12	4	12,2	3
Пентиопирад (ОР)	200	1	1	0,06	4	12,2	3
Тритикоконазол (ОР)	40	2	1	0,25	4	9,84	3
Эпоксиконазол (ОР)	75	1	1	0,11	4	8,39	3
Флуксапироксад (ОР)	33,3	2	1	0,18	4	6,09	3
Хлороталонил (ОР)	1250	2	2	0,003	4	3,53	3
Тебуконазол (ОС)	6	2	1	0,43	4	2,58	3
Карбендазим (ОР)	250	2	1	0,007	4	1,72	3
Тирам (ОС)	240	2	1	0,005	4	1,30	3
Карбендазим (ОС)	100	2	1	0,007	4	0,69	4
Метрафенон (ОР)	30	1	0,5	0,02	4	0,60	4
Флудиоксонил (ОР)	10	1	1	0,04	4	0,44	4
Беномил (ОР)	250	1	1	0,0001	4	0,02	4
Беномил (ОС)	200	1	1	0,0001	4	0,02	4

Примечание: (ОР) – опрыскивание растений, (ОС) – обработка семян.

Таким образом, одним из факторов, определяющих опасность применения пестицида, является доза, вносимая на гектар. Об этом также говорят данные Y. Zhan, M. Zhang (2013) [16], полученные на основании анализа математических моделей по выявлению показателей, в наибольшей степени обуславливающих опасность пестицидов. Кроме того, известные подходы, основанные на оценке риска применения пестицидов, используют в качестве одного из основных показателей содержание пестицида в окружающей среде [3, 12], которое в значительной степени зависит от дозы применяемого вещества.

В ранее проведенных нами полевых исследованиях было установлено, что применение соединений кремния (тетраэтоксисилана (ТЭС) и силиката натрия) в баковых смесях с пестицидами повышало эффективность действия последних и позволило снизить нормы расхода фунгицидов на 50% и инсектицидов на 20% без снижения эффективности применения средств защиты [6, 7, 8]. Снижение норм расхода отразится и на показателе относительной эколого-токсикологической опасности применения: для фунгицидов он снизится в 2 раза, инсектицидов – на 20%. Применение невысоких норм расхода химических средств защиты растений в настоящее время является одним из направлений поиска наиболее безопасных для окружающей среды пестицидов, наряду с повышением селективности их действия против вредных организмов и уменьшения стойкости в объектах окружающей среды.

### **Заключение**

Использованный метод оценки эколого-токсикологической опасности пестицидов, учитывающий несколько критериев, позволяет ранжировать эти химические средства защиты растений по величине их относительной опасности при применении, распределить их по четырем группам, а также выделить главные факторы, определяющие уровень опасности.

В первую группу попадают пестициды, обладающие сразу несколькими неблагоприятными профилями безопасности, что дает очень высокие значения *Co*. Из рассмотренных пестицидов к этой группе относится инсектицид хлорпирифос. Применение таких пестицидов должно быть ограниченным, их следует по возможности заменять менее опасными.

Пестициды второй группы, в которую отнесены такие инсектициды, как фипронил, лямда-цигалотрин, гамма-цигалотрин, имидаклоприд и фунгицид флутриафол, должны быть объектом постоянного мониторинга в компонентах окружающей среды, так как они, как правило, также имеют несколько неблагоприятных эколого-токсикологических критериев.

Исследования по разработке комплексных показателей опасности применения пестицидов должны продолжаться с целью нахождения наиболее значимых для оценки параметров и унификации подходов.

---

---

### **Список источников**

1. Васильев В.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.И. Интегральная классификация пестицидов по степени опасности и оценка потенциального загрязнения окружающей среды // *Агрохимия*. 1989. № 6. С. 97–102.
2. Васильев В.П., Кавецкий В.Н., Бублик Л.И. Критерии целесообразности применения пестицидов // *Защита растений*. 1989. № 10. С. 15–20.
3. Горбатов В.С., Астайкина А.А., Аптикаев Р.С. и др. Сравнительная оценка опасности и риска пестицидов для водных организмов // *Агрохимия*. 2019. № 1. С. 17–26. DOI: 10.1134/S0002188119110061.
4. Горбатов В.С., Кононова А.А. Использование математических моделей прогноза концентраций пестицидов в поверхностных водах // *Агрохимический вестник*. 2010. № 1. С. 27–30.
5. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. Издание официальное. Москва, 2022 [Электронный ресурс]. URL: [https://sadovniki.by/books/pesticidy\\_RF.pdf](https://sadovniki.by/books/pesticidy_RF.pdf) (дата обращения: 02.06.2022).
6. Сластя И.В. Влияние соединений кремния и фунгицида ферракс на урожайность сортов ярового ячменя в условиях сухой степи Нижнего Поволжья // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 74–89. DOI: 10.1134/S0002188118100137.
7. Сластя И.В., Дорожкина Л.А., Беденко Г.В. Использование ТЭС для повышения экологической безопасности применения пестицидов при протравливании семян ячменя // *АгроXXI*. 1998. № 9. С. 10–11.
8. Сластя И.В. Использование соединений кремния для повышения устойчивости ярового ячменя к болезням и снижения пестицидной нагрузки в условиях сухой степи Нижнего Поволжья // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2020. № 1. С. 42–48.
9. Соколов М.С., Галиулин Р.В. Микробиологическое самоочищение почвы от пестицидов. Москва: ВНИИТЭИагропром, 1987. 50 с.
10. Соколов М.С., Стрекозов Б.П. Последовательность и некоторые принципы нормирования пестицидов в почве // *Химия в сельском хозяйстве*. 1975. Т. 13, № 7. С. 63–66.
11. Bockstaller C., Guichard L., Keichinger O. et al. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 29(1). Pp. 223–235. DOI: 10.1051/agro:2008058.
12. Campbell P.J., Hoy S.P. ED points and NOELs: how they are used by UK pesticide regulators // *Ecotoxicology*. 1996. Vol. 5(3). Pp. 139–144. DOI: 10.1007/BF00116335.
13. Pesticide Property Database (PPDB). The Agricultural & Environmental Research Unit (AERU) at the University of Hertfordshire. Hatfield, Herts, UK., 2010. URL: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>.
14. Swanson M.B., Davis G.A., Kincaid L.E. et al. A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1997. Vol. 16(2). Pp. 372–383. DOI: 10.1002/etc.5620160237.
15. Yazgan M., Tanik A. A new approach for calculating the relative risk level of pesticides // *Environment International*. 2005. Vol. 31(5). Pp. 687–692. DOI: 10.1016/j.envint.2004.12.002.
16. Zhan Y., Zhang M. Application of a combined sensitivity analysis approach on a pesticide environmental risk indicator // *Environmental Modelling & Software*. 2013. Vol. 49. Pp. 129–140. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.08.005.

## References

1. Vasilev V.P., Kavetskiy V.N., Bublik L.I. Integral'naya klassifikatsiya pestitsidov po stepeni opasnosti i otsenka potentsial'nogo zagryazneniya okruzhayushchej sredy [Integral classification of pesticides according to the degree of danger and assessment of potential environmental pollution]. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry, Eurasian Soil Science*. 1989;6:97-102. (In Russ.).
2. Vasilev V.P., Kavetskiy V.N., Bublik L.I. Kriterii tselesoobraznosti primeneniya pestitsidov [Criteria for the use of pesticides]. *Zashchita rastenij = Plant Protection*. 1989;10:15-20. (In Russ.).
3. Gorbatov V.S., Astaikina A.A., Aptikaev R.S. et al. Sravnitel'naya otsenka opasnosti i riska pestitsidov dlya vodnykh organizmov [Comparative hazard and risk assessment of pesticides to aquatic organisms]. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry, Eurasian Soil Science*. 2019;1:17-26. DOI: 10.1134/S0002188119110061. (In Russ.).
4. Gorbatov V.S., Kononova A.A. Ispol'zovaniye matematicheskikh modelej prognoza kontsentratsij pestitsidov v poverkhnostnykh vodakh s tsel'yu otsenki ikh riska dlya vodnykh organizmov [Use of mathematical models of pesticides concentration prognosis in surface waters]. *Agrokhimicheskij vestnik = Agrochemical Herald*. 2010;1:27-30. (In Russ.).
5. Gosudarstvennyy katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federatsii [State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use on the territory of the Russian Federation]. Moscow; 2022. URL: [https://sadovniki.by/books/pestitsidy\\_RF.pdf](https://sadovniki.by/books/pestitsidy_RF.pdf). (In Russ.).
6. Slasty I.V. Vliyanie soedinenij kremniya i fungitsida ferraks na urozhainost' sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh sukhoj stepi Nizhnego Povolzh'ya [Effect of silicon compounds and fungicide ferrax on yield of barley varieties in dry steppe of the Lower Volga region]. *Agrokimiya = Agricultural Chemistry, Eurasian Soil Science*. 2018;10:74-89. DOI: 10.1134/S0002188118100137. (In Russ.).
7. Slasty I.V., Dorozhkina L.A., Bedenko G.V. Ispol'zovanie TES dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti primeneniya pestitsidov pri protravlivanii semyan yachmenya [Use of Tetraethoxysilane to improve the environmental safety of the use of pesticides in the treatment of barley seeds]. *AgroXXI = AgroXXI*. 1998;9:10-11. (In Russ.).
8. Slasty I.V. Ispol'zovanie soedinenij kremniya dlya povysheniya ustoychivosti yarovogo yachmenya k boleznyam i snizheniya pestitsidnoj nagruzki v usloviyakh sukhoj stepi Nizhnego Povolzh'ya [The use of silicon compounds to increase the resistance of spring barley to diseases and reduce pesticide load in dry steppe of the Lower Volga region]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2020;1:42-48. (In Russ.).
9. Sokolov M.S., Galiulin R.V. Mikrobiologicheskoe samoочishchenie pochvy ot pestitsidov [Microbiological self-purification of soil from pesticides]. Moscow: All-Russian Research Institute of Technical and Economic Research of the Agro-Industrial Complex Press; 1987. 50 p. (In Russ.).
10. Sokolov M.S., Strekozov B.P. Posledovatel'nost' i nekotorye printsipy normirovaniya pestitsidov v pochve [Sequence and some principles of regulation of pesticides in soil]. *Khimiya v sel'skom khozyajstve = Chemistry in Agriculture*. 1975;13(7):63-66. (In Russ.).
11. Bockstaller C., Guichard L., Keichinger O. et al. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011;29(1):223-235. DOI: 10.1051/agro:2008058.
12. Campbell P.J., Hoy S.P. ED points and NOELs: how they are used by UK pesticide regulators. *Eco-toxicology*. 1996;5(3):139-44. DOI: 10.1007/BF00116335.
13. Pesticide Property Database (PPDB). The Agricultural & Environmental Research Unit (AERU) at the University of Hertfordshire. Hatfield, Herts, UK; 2010. URL: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>.
14. Swanson M.B., Davis G.A., Kincaid L.E. et al. A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1997;16(2):372-383. DOI: 10.1002/etc.5620160237.
15. Yazgan M., Tanik A. A new approach for calculating the relative risk level of pesticides. *Environment International*. 2005;31(5):687-692. DOI: 10.1016/j.envint.2004.12.002.
16. Zhan Y., Zhang M. Application of a combined sensitivity analysis approach on a pesticide environmental risk indicator. *Environmental Modelling & Software*. 2013;49:129-140. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.08.005.

## Информация об авторе

И.В. Сластя – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», [slasty@rgau-msha.ru](mailto:slasty@rgau-msha.ru).

## Information about the author

I.V. Slasty, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Ecology, Russian Timiryazev State Agrarian University, [slasty@rgau-msha.ru](mailto:slasty@rgau-msha.ru).

Статья поступила в редакцию 20.11.2022; одобрена после рецензирования 23.12.2022; принята к публикации 15.01.2023.

The article was submitted 20.11.2022; approved after reviewing 23.12.2022; accepted for publication 15.01.2023.

© Сластя И.В., 2023