

## **СТРУКТУРА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПЕСТИЦИДАХ**

В.С. Горбатов (ВНИИ фитопатологии, 143050, Московская область,  
Одинцовский район, с. Б. Вяземы, ВНИИФ, [gorbatov@vniif.ru](mailto:gorbatov@vniif.ru))

Т.В. Кононова (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 107139, Москва,  
Орликов пер., 1/11, [t.kononova@svfk.mcx.ru](mailto:t.kononova@svfk.mcx.ru))

### **Введение**

Благодаря процедуре регистрации пестицидов эти химические вещества относятся к одним из наиболее изученных. Разработчики и регистранты пестицидов, руководствуясь все возрастающими требованиями национальных регистрационных органов, в процессе испытаний и регистрации пестицидов получают о них обширный объем данных. Эти данные затем дополняются информацией по оценке пестицидов регистрационными органами, а также данными мониторинга и последующими научными публикациями независимых ученых и специалистов. Источники и формы этой информации о пестицидах, касающиеся их экологической оценки, детально проанализированы в ранее вышедшей статье Горбатова и др., 2008. Данная публикация посвящена структуре экологических данных о пестицидах с особым вниманием к индикаторам и индексам пестицидов как основным инструментам, используемым в регулировании оборота пестицидов и управления экологическими рисками, возникающими при их применении.

### **Первичные данные**

Основанием «пирамиды данных» о пестициде (рис.1) являются многочисленные первичные данные – как правило, это цифры, получаемые в результате прямых измерений. Ими могут быть концентрации пестицидов в почве и воде, количество умерших тестовых животных и множество других данных по поведению пестицидов в окружающей среде и их влиянию на организмы. Основной массив первичных данных получают в процессе разработки пестицидов и затем используют их для расчета показателей (индикаторов), требуемых при регистрации пестицидов. Некоторые первичные данные получают в послерегистрационный период (в частности при мониторинге, когда определяют концентрации пестицидов в объектах окружающей среды). Однако судить о тенденциях процессов поведения пестицида в окружающей среде и проявлении его токсичности по первичным данным достаточно сложно и, поэтому, используя их, рассчитывают так называемые экологические индикаторы пестицида.



Рис. 1. Структура информации о пестициде

### Экологические индикаторы пестицидов

В самом общем виде, индикатор - это показатель, выводимый из первичных данных и позволяющий судить о состоянии или изменении какой-либо экономической, социальной или экологической переменной (Тарасова, Кручина, 2006). Для пестицидов такими индикаторами являются, например, период полураспада  $DT_{50}$  – индикатор стойкости пестицида в почве, коэффициент сорбции пестицида  $Kd$  (или  $Koc$ ) – индикатор его подвижности в системе почва-вода, полуплетальные концентрации  $LC_{50}$  для тестовых видов организмов – индикаторы токсичности пестицида и т.п. (табл.1). Хотя, строго говоря, индикаторами могут быть не только расчетные показатели, выводимые из первичных данных, но и некоторые первичные данные. Часто упоминаемый быденный пример: температура тела человека как индикатор его здоровья или, если говорить о пестицидах, «дыхание» почвы (выделение почвой  $CO_2$ ) – индикатор влияния пестицида на почвенные микроорганизмы.

В законодательно оформленном виде экологические индикаторы пестицидов нашли свое применение в так называемых «регистрационных требованиях» - данных о пестициде, которые регистрант должен представить при его регистрации. Такие требования, касающиеся экологической оценки пестицидов и действующие в настоящее время в Российской Федерации, приведены в разделе Е1

«Экологическая характеристика действующего вещества» «Сведений о пестициде» [Приказ МСХ РФ от 10.07.2007 г. № 357]. Среди этих требуемых данных - вышеупомянутые индикаторы  $DT_{50}$ ,  $K_{oc}$  и  $LC_{50}$ .

Таблица 1

## Экологические индикаторы пестицидов

Индикатор	Функциональная зависимость*	Что характеризует
$DT_{50}$ – период полураспада пестицида в природных средах	$C_{(почва, вода, воздух)} = f(t)$	Стойкость в почве, воде и воздухе
$K_d(K_{oc})$ – коэффициент сорбции	$C_{раствор} = f(C_{почва})$	Подвижность в системе почва-раствор
$H$ – константа Генри	$C_{воздух} = f(S)$	Подвижность в системе раствор-воздух
$BCF$ – коэффициент биоаккумуляции	$C_{организм} = f(C_{вода, почва})$	Способность накапливаться в организмах нецелевых видов
$LC_{50}$ и $NOEC$ – полублетальная и недеятельная концентрации	$L = f(C_{почва, вода, воздух})$	Токсичность для нецелевых видов организмов

\* -  $C$  – концентрация пестицида;  $t$  – время;  $S$  – растворимость пестицида в воде;  $L$  - смертность

Индикаторы, по своей сути, являются показателями *экологической опасности* пестицида и практически все классификации, характеризующие экологическую опасность пестицидов, являются классификациями вышеперечисленных индикаторов. Например, классификации индикаторов токсичности используются для отнесения пестицидов к тому или иному классу опасности химических веществ. Или классификация пестицидов по их стойкости в почве (табл.2), которая служит экспертам в практической деятельности по регистрации пестицидов в России.

Значения границ классов индикаторов часто служат триггерами (переключателями) в пошаговых схемах принятия решений при регистрации пестицидов. Например, если пестицид стойкий ( $DT_{50} > 60$  суток), то кроме лабораторных данных требуются сведения о стойкости пестицида в полевых условиях, а очень стойкие пестициды ( $DT_{50} > 120$  суток) обычно не рекомендуются для регистрации в личных подсобных хозяйствах.

Таблица 2

## Классификация стойкости пестицидов в почве

Класс	Индикаторы стойкости, сутки	
	$DT_{50}$	$DT_{90}$
Нестойкий	< 7	< 21
Малостойкий	7 – 21	21 – 70
Среднестойкий	22 – 60	71 – 200
Стойкий	61 – 120	201 – 400
Очень стойкий	> 120	> 400

В отличие от первичных данных индикаторы удобны для сравнения свойств различных пестицидов, так как исходные первичные данные для их расчета получают в стандартных

контролируемых условиях. На рис. 2 приведена диаграмма, характеризующая стойкость действующих веществ гербицидов, зарегистрированных в Российской Федерации на сахарной свекле.

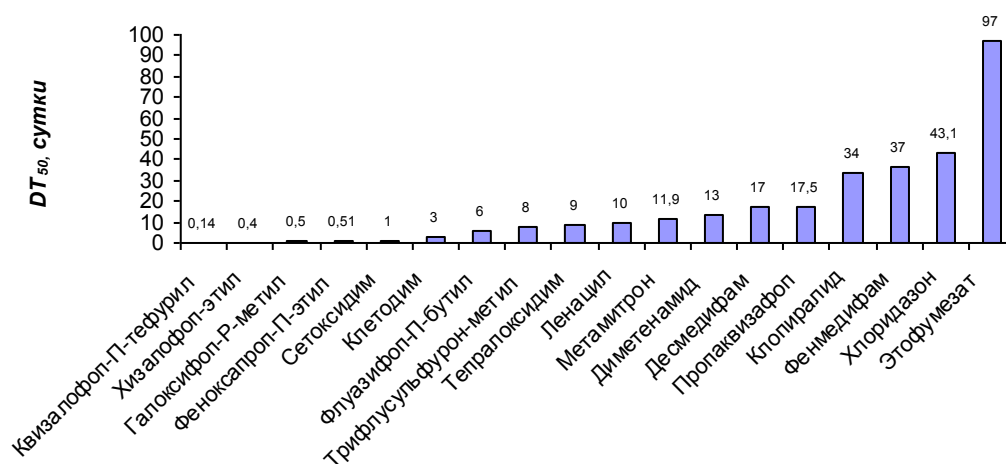


Рис. 2. Сравнительная оценка индикатора стойкости гербицидов ( $DT_{50}$ ), зарегистрированных в РФ на сахарной свекле

По сравнению с первичными данными о пестициде массив информации, представленный индикаторами, гораздо более ограничен. Однако индикаторы характеризуют совершенно разные стороны влияния пестицида на окружающую среду. А экспертам-экологам и специалистам-управленцам, регулирующим регистрационный процесс и принимающим решения о послерегистрационном контроле, желательно также иметь универсальные и достаточно простые инструменты обобщения (агрегирования) этих разнородных данных. Такими инструментами являются индексы, представляющие максимально «свернутую» информацию о пестицидах и занимающие самую вершину «пирамиды данных» о них.

#### Экологические индексы пестицидов и их типология

Попытки объединить разнородную информацию о влиянии пестицида на окружающую среду и представить ее в виде одного или нескольких агрегированных показателей (индексов) предпринимались уже давно, в том числе, и в нашей стране (Соколов, Стрекозов, 1975; Мельников, 1996). Первые авторы ранжировали различные показатели экологической опасности пестицида с помощью балльных оценок, затем умножали их на уровень значимости этих показателей и суммировали полученные баллы, получая в итоге агрегированный показатель опасности пестицида для окружающей среды. Второй в качестве индекса использовал отношение произведения нормы расхода пестицида и стойкости его в почве к токсичности для млекопитающих (крыс).

За последние годы интерес к агрегированным показателям, как относительно простым и доступным инструментам планирования риска и принятия решений, значительно вырос как со стороны органов, регулирующих регистрацию и применение пестицидов, так и со стороны их потребителей. Неудивительно, что уже предложено более сотни различного рода таких индексов (Van Bol et al, 2002) и предприняты попытки их систематизации и выбора наиболее приемлемых (проект Европейского Союза «CAPER», Reus et al, 1999).

Необходимо отметить, что существует некоторая путаница с терминами «индикатор» и «индекс». В англоязычной специальной литературе по пестицидам агрегированные показатели часто называют индикаторами, а не индексами (например, в вышеупомянутом проекте “CAPER”- “Concerted Action on Pesticide Environmental Risk indicators”, выполненном в Европейском Союзе). Иногда под индексом понимают численное значение индикатора. Мы в дальнейшем для агрегированного показателя будем пользоваться более общепринятым термином «индекс» («экологический индекс пестицида»), который по этому назначению используется и в других областях знаний и деятельности человека, например, в экономике – хорошо известные индексы цен акций Дау-Джонса и РТС, характеризующие тенденции развития рынка США и России соответственно.

Большое количество разработанных индексов объясняется многообразием целей их применения, наличием нескольких природных сред и разнообразием нецелевых видов организмов, различными комбинациями данных и методами их агрегирования, способами представления рассчитанных индексов.

Первые попытки разработки экологических индексов пестицидов связаны с оценкой их опасности для окружающей среды в целом, включая различные нецелевые виды организмов (Соколов, Стрекозов, 1975; Pease et al., 1996; Swanson et al., 1997). Но они оказались не совсем удачными, прежде всего из-за того, что ни один вид организмов не является одинаково чувствительным ко всем пестицидам. Так, сравнительная оценка индексов экологической опасности, разработанных последними тремя группами авторов, показала плохую сходимость ранжированных рядов пестицидов, для которых рассчитывались эти индексы (Levitan, 1997). Большее развитие получили экологические индексы пестицидов для отдельных природных сред (вода, почва, воздух) и нецелевых организмов. Информация по таким типам индексов систематизирована в обзоре Европейского проекта FOOTPRINT ([www.eu-footprint.org](http://www.eu-footprint.org)) и работе Devillers J. et al., 2005 и часть ее приведена в табл.3.

Таблица 3

### Экологические индексы пестицидов

Индекс	Токсичность для водных организмов	Токсичность для почвенных организмов	Токсичность для человека	Подвижность в системе почва/вода	Возможность загрязнения воздуха	Стойкость в почве
AARI	+					
ADSCOR				+		
CHEMS-1	+		+	+	+	+
DIAPHYT	+	+				
ECORR	+	+		+	+	
EIQ	+	+	+	+		+
EPRIP	+	+		+	+	+
EIP	+	+		+		+
HD	+				+	+
GUS				+		
I-phy	+			+	+	+
NRI	+	+		+		+
PAF	+	+		+		+
p-EMA	+	+	+	+		+
PERI	+	+		+	+	+
PESTDECIDE	+	+	+			
PI		+				
POSER	+	+	+	+		+

Rating system	+	+		+		+
REXTOX	+			+		+
SIRIS	+			+		+
SRI	+		+	+		+
SYNOPS	+	+		+		+
SyPER	+			+		+

В отличие от индикаторов, которые служат только для оценки опасности, индексы применяются как для оценки опасности, так и риска применения пестицидов.

#### *Данные, используемые для расчета экологических индексов пестицидов*

Набор исходных данных, объединяемых в различные экологические индексы пестицидов, варьирует довольно широко. Но, как правило, они включают показатели стойкости ( $DT_{50}$ ) и подвижности (коэффициент сорбции  $K_{oc}$ ) пестицида в почве, его токсичности ( $LC_{50}$ ,  $NOEC$ ) для нецелевых видов организмов, например, водных (рыбы, дафнии, водоросли) или почвенных (дождевые черви).

Одним из наиболее простых и широко известных *индексов экологической опасности* пестицидов является индекс  $GUS$  (Gustafson, 1989):

$$GUS = \lg DT_{50} \times (4 - \lg K_{oc}),$$

агрегирующий показатели стойкости и подвижности пестицида и по значениям которого можно оценить *опасность* загрязнения пестицидом грунтовых вод. Если  $GUS < 1,8$  – опасность низкая, когда  $GUS > 2,8$  – опасность высокая.

Индикаторы токсичности пестицида для нецелевых видов организмов и его концентраций в средах, где обитают данные виды, агрегированные в соотношения  $LC_{50}/C$ , могут служить примерами простых *индексов экологического риска* пестицидов для этих нецелевых видов организмов.

Некоторые индексы пестицидов (PESTDECIDE) наряду с экологическими индикаторами включают и показатели их стоимости, что позволяет пользователям прогнозировать и оптимизировать соотношение затрат на пестициды и возможной опасности их применения. В другие индексы дополнительно введены данные по количеству уже примененных пестицидов на конкретной территории за определенный период времени (пестицидная нагрузка), что дает возможность регулирующим и контролирующим органам проследить тенденции изменения экологической опасности пестицидов, применяемых в конкретном регионе.

#### *Методы агрегирования данных*

Агрегирование нескольких видов данных в один индекс – одна из наиболее важных стадий разработки индекса. Достаточно детально эти процедуры описаны в работе Левитан [Levitan, 1997] и далее они лишь кратко перечисляются.

##### *Механистический подход*

Индикаторы интегрируются в индексы с помощью алгебраических уравнений или достаточно простых математических моделей. В качестве примеров можно привести тот же индекс  $GUS$  или соотношения  $LC_{50}/C$ .

### *Бальная оценка*

Агрегированию подлежат не числовые значения показателей, а баллы, придаваемые данным числовым значениям в соответствии с классификациями показателей (индикаторов). Одна из основных задач разработчиков таких индексов состоит в придании каждому из агрегируемых показателей коэффициента значимости (веса), который определяет меру его вклада в экологическую опасность пестицида. Типичный пример такого вида агрегирования представлен в работе Соколова и Стрекозова (1975).

### *Экспертный подход*

Агрегирование данных осуществляется с помощью экспертных систем или так называемых «схем принятия решений». Хорошо известны схемы Европейской Организации по Защите Растений (EPPO), касающиеся оценки опасности и риска загрязнения пестицидами природных сред и их негативного влияния на нецелевые организмы. В отличие от двух предыдущих методов результатом такого агрегирования данных являются не числа (баллы), а конкретные решения («регистрировать», «не регистрировать», «менять регламент применения», «проводить дополнительные испытания» и т.п.).

### *Специфичные математические методы*

Наиболее яркие примеры – использование диаграмм Хассе (Galassi, Provini, Halfon, 1996) или «метода нечеткой меры» (fuzzy measure) (Van der Werf and Zimmer, 1998).

### *Гибридный метод*

Является сочетанием нескольких вышеперечисленных подходов. Большинство индексов проекта «CAPER» (Reus et al., 1999) как раз получены этим методом.

## **Заключение**

Предпринятая попытка структурировать экологические данные о пестицидах позволила уточнить терминологию и разделить весь информационный массив на три группы (первичные данные, индикаторы, индексы), объединенных в иерархию. Каждая из этих групп данных отличается своей плотностью информации и находит практическое применение в сфере регулирования оборота пестицидов: первая и третья, в основном, в послерегистрационный период для мониторинга (первичные данные) и управлением экологическими рисками применения пестицидами (индексы), а вторая – для экологической оценки пестицидов при их регистрации.

## **Литература**

Горбатов В.С., Матвеев Ю.М., Кононова Т.В. Экологическая оценка пестицидов: источники и формы информации. Агро XXI, 2008, № 1-3, с. 7-9

Мельников Н.Н. Основные направления снижения экологической нагрузки при применении пестицидов. Успехи химии, 1991, т. 60, вып. 3, с.545

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 10.07.2007 г. № 357 «Об утверждении порядка государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов» ([http://www.mcx.ru/dep\\_doc.html?he\\_id=928&doc\\_id=17544](http://www.mcx.ru/dep_doc.html?he_id=928&doc_id=17544))

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

Тарасова Н.П., Кручина Е.Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития. М., 2006, 36 с.

Devillers J. et al. Indicateurs pour evaluer les risques lies a l'utilisation des pesticides. Tech & Doc editions, Lavoisier, Paris, 2005, 278 p.

Galassi S., Provini A., Halfon E. Risk assessment for pesticides and their metabolites in water. International Journal of Environmental analytical chemistry, 1996, v.65, pp. 331-344

Gustafson D.I. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability. Environmental Toxicology and Chemistry, 1989, 8, p.339-357

Levitan L. An Overview of Pesticide Impact Assessment Systems. Background Paper Prepared for the OECD Workshop on Pesticide Risk Indicators 21-23 April, 1997, Copenhagen, Denmark. Cornell University, 1997, 89 p.

Pease W.S. et al. Pesticide use in California. Strategies for reducing environmental health impacts. University of California, 1996, 116 p.

Reus J., Leendertse P., Bockstaller C., Fomsgaard I, Gutsche V., Lewis K., Nilsson C., Pussemier L., Trevisan M., H. van der Welf, Alfarroba F., Blumel S., Isart J., McGrath D., Seppala T. Results of the European CAPER Project. Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides, 1999, 7 p.

Swanson M.B., Davis G.A., Kincaid L.E., Schults T.W., Bartmess J.E., Jones S.L. and George E.L. CHEMS 1: Screening Method fro ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts (Environmental Toxicology & Chemistry), 1997, v.16(2), p.372-383

Van der Werf H.M. and Zimmer C. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. Chemosphere, 1998, v.36, pp. 2225-2249

Van Bol et al. Study and analysis of existing Pesticide Risk Indicators – Nask B1. 2002, 35 p.