

Выводы Всемирной комплексной оценки риска неоникотиноидов и фипронила для биоразнообразия и функционирования экосистемы

van der Sluijs, J.P.^{1,30}, Amaral-Rogers, V.², Belzunces, L.P.³, Bijleveld van Lexmond, M.F.I.J.⁴, Bonmatin, J.-M.⁵, Chagnon, M.⁶, Downs, C.A.⁷, Furlan, L.⁸, Gibbons, D.W.⁹, Giorio, C.¹⁰, Girolami, V.¹¹, Goulson, D.¹², Kreuzweiser, D.P.¹³, Krupke, C.¹⁴, Liess, M.¹⁵, Long, E.¹⁴, McField, M.¹⁶, Mineau, P.¹⁷, Mitchell, E.A.D.^{18,19}, Morrissey, C.A.²⁰, Noome, D.A.^{4,21}, Pisa, L.¹, Settele, J.^{22,23}, Simon-Delso, N.^{1,24}, Stark, J.D.²⁵, Tapparo, A.²⁶, Van Dyck, H.²⁷, van Praagh, J.²⁸, Whitehorn, P.R.²⁹, Wiemers, M.²²

¹ Department of Environmental Sciences, Copernicus Institute, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands

² Buglife, Bug House, Ham Lane, Orton Waterville, Peterborough PE2 5UU, UK

³ INRA, UR 406 Abeilles and Environnement, Laboratoire de Toxicologie Environnementale, Site Agroparc, 84000 Avignon, France

⁴ Task Force on Systemic Pesticides, Pertuis-du-Sault, 2000 Neuchâtel, Switzerland

⁵ Centre National de la Recherche Scientifique, Centre de Biophysique Moléculaire, rue Charles Sadron, 45071 Orléans Cedex 02, France

⁶ Département des Sciences Biologiques, Université du Québec À Montréal, Case Postale 8888, Succursale Centre-Ville, Montreal, Québec, Canada H3C 3P8

⁷ Haereticus Environmental Laboratory, P.O. Box 92, Clifford, VA 24533, USA

⁸ Veneto Agricoltura, Legnaro, PD, Italy

⁹ RSPB Centre for Conservation Science, RSPB, The Lodge, Sandy, Bedfordshire SG19 2DL, UK

¹⁰ Department of Chemistry, University of Cambridge, Lensfield Road, CB2 1EW Cambridge, UK

¹¹ Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Agripolis, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, Padova, Italy

¹² School of Life Sciences, University of Sussex, Brighton BN1 9RH, UK

¹³ Canadian Forest Service, Natural Resources Canada, 1219 Queen Street East, Sault Ste Marie, ON, Canada P6A 2E5

¹⁴ Department of Entomology, Purdue University, West Lafayette, IN 47907-2089, USA

¹⁵ Department of System Ecotoxicology, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, 04318 Leipzig, Germany

¹⁶ Healthy Reefs for Healthy People Initiative, Smithsonian Institution, Belize City, Belize

¹⁷ Pierre Mineau Consulting, 124 Creekside Drive, Salt Spring Island V8K 2E4, Canada

¹⁸ Laboratory of Soil Biology, University of Neuchâtel, Rue Emile Argand 11, 2000 Neuchâtel, Switzerland

¹⁹ Jardin Botanique de Neuchâtel, Chemin du Perthuis-du-Sault 58, 2000 Neuchâtel, Switzerland

²⁰ Department of Biology and School of Environment and Sustainability, University of Saskatchewan, 112 Science Place, Saskatoon, SK S7N 5E2, Canada

²¹ Kijani, Kasungu National Park, Private Bag 151, Lilongwe, Malawi

²² Department of Community Ecology, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle, Germany

²³ iDiv, German Centre for Integrative Biodiversity Research, Halle-Jena-Leipzig, Deutscher Platz 5e, 04103 Leipzig, Germany

²⁴ Beekeeping Research and Information Centre (CARI), Place Croix du Sud 4, 1348 Louvain la Neuve, Belgium

²⁵ Puyallup Research and Extension Centre, Washington State University, Puyallup, WA 98371, USA

²⁶ Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Padova, via Marzolo 1, 35131 Padova, Italy

²⁷ Behavioural Ecology and Conservation Group, Biodiversity Research Centre, Université Catholique de Louvain (UCL), Croix du Sud 4-5 bte L7.07.04, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

²⁸ Scientific Advisor, Hassellstr. 23, 29223 Celle, Germany

²⁹ School of Natural Sciences, University of Stirling, Stirling FK9 4LA, UK

³⁰ Centre for the Study of the Sciences and the Humanities, University of Bergen, Postboks 7805, N-5020 Bergen, Norway

* J.P. van der Sluijs: jeroen@jvds.nl

Введение

На сегодняшний день недостаточно изучены побочные эффекты повсеместного

использования пестицидов и их влияния на живую природу, в частности на высших уровнях биологической организации:

популяций, сообществ и экосистем (Köhler and Triebkorn 2013). В данной работе особое внимание уделяется одной из наиболее проблемных групп агрохимикатов – системных инсектицидам, таким как фипронил и вещества из группы неоникотиноидов. Растущая во всем мире зависимость от использования, частично профилактического, этих мощных нейротоксических системных инсектицидов остро поставила вопрос об их влиянии на биоразнообразие, функционирование и услуги экосистем, обеспечиваемых разнообразными видами растений и сред обитания. Современный масштаб применения данных химических веществ в сочетании с их свойствами привел к повсеместному загрязнению сельскохозяйственных земель, источников пресной воды, заболоченных угодий, нецелевой растительности, эстуариев и прибрежных морских систем. Это означает, что многие организмы данных сред обитания многократно и хронически подвергаются воздействию данных инсектицидов в эффективных концентрациях.

В настоящее время неоникотиноиды и фипронил составляют примерно треть часть мирового рынка инсектицидов (в денежном выражении по данным 2010 года). Методика их применения разнообразна, включает в себя протравливание семян, погружение, листовое опрыскивание растений, протравливание почвы и стволовые инъекции. Данные составы применяются для борьбы с насекомыми-вредителями сотен сельскохозяйственных, садовых и лесных культур. Они также широко используются для борьбы с вредными насекомыми и разносчиками инфекций у домашних животных, скота и аквакультур, а также для борьбы с вредными насекомыми в городских домашних условиях и для сохранения древесины (Simon-Delso et al. 2014).

Несмотря на то, что до санкционирования рыночного применения данные системные инсектициды прошли стандартную оценку экологического риска, нормативно-правовая база не дает оценку единичным и совокупным экологическим рискам при массовом и одновременном использовании нескольких продуктов с различным составом и различными механизмами воздействия. Данные способы внесения инсектицидов используются в сочетании друг с другом применительно к сотням видам сельскохозяйственных культур, включая все крупнейшие сельскохозяйственные культуры во всем мире, а также применительно ко многим видам крупного рогатого скота, домашних животных и т.д. Кроме того, экспертная оценка экологических рисков не учитывает их взаимодействие с другими стрессовыми факторами окружающей среды. После санкционирования использования продукта на рынке устанавливаются ограничения разрешенных доз и частоты их применения, однако не имеется никаких установленных ограничений относительно общего масштаба применения действующих веществ, приводящих к снижению потенциала восстановления нарушенных пестицидами экосистем. Следует добавить, что не проводилась оценка последовательного воздействия неоникотиноидов на водосборные бассейны приводящего с течением времени к кульминации как самого воздействия, так и его последствий (Liess et al. 2013). Потенциальное взаимодействие между неоникотиноидами, фипронилом и другими действующими веществами пестицидов также еще не рассматривалось, хотя аддитивность и принцип совместного воздействия токсических механизмов уже были задокументированы (Satchivi and Schmitzer 2011; Gewehr 2012; Iwaza et al. 2004).

Всемирная комплексная оценка (ВКО), представленная в публикациях данного специального выпуска, является первой попыткой систематизировать все накопленные знания о рисках, которым подвергается биоразнообразие и функционирование экосистем в результате повсеместного

применения неоникотиноидов и фипронила. ВКО опирается на результаты более 800 научных статей, прошедших экспертное рецензирование и опубликованных за последние два десятилетия. Мы провели оценку тенденций, способов применения, принципов действия и метаболитов (Simon-Delso et al. 2014), экологических последствий воздействия препаратов (Vonmatin et al. 2014), воздействия на нецелевых беспозвоночных (Pisa et al. 2014), прямого и косвенного воздействия на позвоночных в дикой природе (Gibbons et al. 2014), а также оценку рисков для функционирования и услуг экосистем (Chagnon et al. 2014) и, наконец, исследовали альтернативные устойчивые методы борьбы с сельскохозяйственными вредителями вместо неоникотиноидов и фипронила (Furlan and Kreutzweiser 2014).

Механизм действия пестицидов, их трансформация в окружающей среде и воздействие

Вследствие своей системной сущности неоникотиноиды и, в меньшей степени, фипронил, а также несколько их токсичных метаболитов впитываются корнями или листьями растения и переносятся во все его части, что, в свою очередь, делает обработанное растение токсичным для насекомых, известных как потенциально вредных для данной культуры. Неоникотиноиды и фипронил прерывают передачу нервного импульса в центральной нервной системе организма. Неоникотиноиды образуют связи с никотиновым ацетилхолинорецептором, тогда как фипронил подавляет рецептор гамма-аминомасляной кислоты. Оба пестицида вызывают летальный исход, а также целый ряд сублетальных последствий у беспозвоночных и некоторых позвоночных животных (Simon-Delso et al. 2014 and Gibbons et al. 2014). Следует особо отметить очень высокое сродство, с которым неоникотиноидные инсектициды агонистически связываются с никотиновым ацетилхолинорецептором (nAChR) таким

образом, что даже воздействие в низких дозах в течение длительного времени может привести к существенным последствиям (см. работы, рецензированные Pisa et al. 2014).

В результате их широкого применения данные вещества присутствуют во всех компонентах окружающей среды, включая почву, воду и воздух. Загрязнение окружающей среды происходит несколькими разрозненными путями, включая пыль, возникающую по время заделки обработанных семян; загрязнение и увеличение концентрации в окружающей среде после повторного применения в пахотных почвах и почвенной влаге, сток в поверхностные и грунтовые воды, впитывание пестицидов корнями нецелевых растений и последующее перемещение в пыльцу, нектар и гуттационную жидкость и т.д.; осаждение пыли и брызг на листьях при опрыскивании, а также распространение загрязненной пыльцы и нектара обработанных растений ветром и животными. Устойчивость состава в почвах, водоемах и нецелевых растениях различна, однако может быть довольно продолжительной, например, период полураспада неоникотиноидов в почве может превышать 1000 дней. Аналогично, данные вещества могут сохраняться в древесных растениях более года. Распад веществ ведет к образованию токсичных метаболитов, при этом их концентрация в окружающей среде измеряется редко (Vonmatin et al. 2014).

Сочетание стойкости (несколько месяцев или лет) и растворимости в воде привело к широкомасштабному загрязнению почвы и осадочных пород (в диапазоне от ppb до ppm), водоемов (грунтовые и поверхностные воды в диапазоне ppt и ppb) и обрабатываемой и необрабатываемой растительности (в диапазоне ppb и ppm), а также к возможности накопления в них данных веществ. Не проводилось систематического и адекватного выявления данных пестицидов и их метаболитов, что является необходимым для определения как длительного воздействия низких концентраций, так и краткосрочного нерегулярного воздействия высоких концентраций.

Однако в тех случаях, когда экологические пробы проверялись, в них зачастую присутствовала смесь пестицидов, включая неоникотиноиды или фипронил (и их токсичные метаболиты). Кроме того, пробы почвы и поверхностных вод показали превышение установленных в странах Северной Америки и Европы экологических пороговых значений. В целом, существуют убедительные доказательства, что почвы, вода и растения в сельскохозяйственной и городской среде, а также в зонах стока вод в различной степени загрязнены смесью неоникотиноидов, фипронила и их метаболитов (Bonmatin et al. 2014).

Данная специфика состояния и трансформации вещества в окружающей среде обуславливает различные пути их постоянного и хронического острого воздействия на нецелевые организмы. Например, опылители (в том числе пчелы) подвергаются воздействию при непосредственном контакте с пылью во время сева, потребления пыльцы, нектара, гуттационной влаги, нектарников и медвяной росы растений, выращенных из обработанных семян, воды, а также при контакте с загрязненной пылью и нектаром полевых цветов и деревьев, растущих рядом с обрабатываемыми полями или с загрязненными водоемами. Изучение пищевых запасов в колониях медоносных пчел в различных природных условиях мира демонстрирует, что колонии подвергаются регулярному и хроническому воздействию неоникотиноидов, фипронила и их метаболитов (обычно в пределах 1-100 ppb), часто в сочетании с другими пестицидами, некоторые из которых действуют синергетически с неоникотиноидами. Другие нецелевые организмы, в особенности населяющие почву и водоемы, или травоядные насекомые, питающиеся несельскохозяйственными растениями на сельхозугодьях, также неизбежно подвергаются их воздействию, хотя данные по названным группам, как правило, отсутствуют (Bonmatin et al. 2014).

Воздействие на нецелевые организмы

Воздействие системных пестицидов на опылителей вызывает особую озабоченность, как отражено в большом количестве исследований в этой области. В экспериментах в контролируемых условиях при дозах, приближенных к полевым, у пчел отмечалось негативное влияние на ориентацию в полете, обучение, сбор пищи, продолжительность жизни, сопротивляемость болезням и плодовитость. У шмелей результат на уровне колоний ясно продемонстрировал, что, подвергшиеся подобному воздействию колонии медленнее растут и производят заметно меньше маток (Whitehorn et al. 2012). Ограниченные полевые исследования колоний свободноживущих пчел были во многих случаях противоречивы и трудно выполнимы, зачастую вследствие того, что наблюдаемые колонии всегда загрязняются неоникотиноидами, либо вследствие отсутствия воспроизводимости в дизайне экспериментов, что в совокупности говорит о сложности проведения подобного исследования в естественных условиях (Maxim and Van der Sluijs 2013; Pisa et al. 2014).

Другим группам беспозвоночных было уделено меньше внимания. Практически для всех насекомых токсичность данных инсектицидов является очень высокой, включая многие важные для биологической борьбы с вредителями виды. Чувствительность к токсическому воздействию менее ясна в случае с видами не-насекомых. Для кольчатых червей, таких как земляные черви, самая низкая средняя смертельная концентрация LC50 находится в нижних диапазонах по многим неоникотиноидам (самая низкая наблюдаемая концентрация воздействия на уровне 10 ppb). Ракообразные обычно

менее чувствительны, однако чувствительность во многом зависит от вида и стадии развития. Например, у взрослого голубого краба чувствительность на порядок выше, чем у растущего.

При сравнимых с реальными условиями концентрациях неоникотиноиды и фипронил могут негативно влиять на физиологию и выживаемость целого ряда нецелевых беспозвоночных в наземных, водных, болотных, морских и бентических средах (см. литературу, рецензированную Pisa et al. 2014). Последствия рассчитываются преимущественно по результатам лабораторных анализов на токсичность, в тестировании участвует ограниченное число видов. Подобные тесты, как правило, ставят своей задачей исследование лишь летальных эффектов в короткие отрезки времени. (т.е. тесты в 48 или 96 часов), тогда как экологически релевантные сублетальные эффекты, такие как нарушение способности летать, ориентироваться в пространстве или находить пищу, описываются реже. Выяснилось, что во многих подобных экспериментах использовались невосприимчивые виды насекомых (например, дафния магна), продолжительность экспериментов была недостаточно длительной для воспроизведения хронического воздействия препарата, вследствие чего они не могут считаться экологически значимыми. Лабораторным испытаниям по установлению безопасных экологических порогов концентрации препятствует тот факт, что большинство тестов на токсичность пестицидов основаны на устаревших протоколах. Хотя данные пестициды системного воздействия обладают множеством новых свойств, методология тестирования в основном осталась неизменной, что приводит к

неверным заключениям относительно их экологической безопасности (Maxim and Van der Sluijs 2013). Требуются новые улучшенные методологии для изучения индивидуальных токсикологических свойств химических веществ, включая их возможные кумулятивные и отложенные летальные и не летальные воздействия на наземные, водные и морские организмы. Тем не менее, наш обзор показывает растущее число опубликованных доказательств того, что данные системные инсектициды, зачастую при концентрациях ниже ожидаемых в окружающей среде, приводят к серьезному риску вреда для широкого диапазона таксономических групп нецелевых беспозвоночных. В результате чего предполагается воздействие на многие пищевые цепочки, частью которой они являются.

Мы рассмотрели около 150 исследований прямого (токсического) и косвенного (например, через пищевую цепочку) воздействия фипронила и неоникотиноидов (имидаклоприда и клотианидина) на позвоночных: диких млекопитающих, птиц, рыб, земноводных и рептилий. В целом в соответствующих реальным условиям концентрациях на полях, засеянных обработанными семенами, имидаклоприд и клотианидин являются опасными для мелких птиц: потребление ими всего нескольких обработанных семян может привести к смерти или к нарушению репродуктивной функции у восприимчивых видов птиц (см. исследования, рецензированные Gibbons et al. 2014). Некоторые зарегистрированные в окружающей среде концентрации фипронила были достаточно высоки для нанесения потенциального вреда рыбе. Все три инсектицида приводят к сублетальным последствиям, от генотоксических и цитотоксических воздействий до ослабления иммунной функции, снижения

роста или ухудшения репродуктивного успеха. Недавно было приведено неоспоримое доказательство того, что неоникотиноиды ослабляют иммунную реакцию на молекулярном уровне, содействуя таким образом ущербу от скрытых заболеваний и паразитов. Все названные последствия зачастую появляются при концентрациях значительно ниже тех, которые напрямую связаны со смертельным исходом (Di Prisco et al. 2013). Данная тенденция наблюдается во многих таксонах и отражена в рассматриваемой литературе: краткосрочная выживаемость не является релевантным показателем ни измеряемой в течение продолжительного времени смертности, ни ущерба функционированию экосистемы и подверженных воздействию организмов.

За исключением наиболее экстремальных случаев, по-видимому, концентрации имидаклоприда и клотианидина, которым подвергаются рыбы и амфибии, являются значительно ниже порогового уровня для вызывания смертности, хотя сублетальные эффекты еще не были достаточно изучены. Несмотря на недостаточность исследований и трудность установления причинной обусловленности, косвенное влияние может быть не менее важным, чем прямое токсическое воздействие на позвоночных, а, возможно, даже и более важным. Неоникотиноиды и фипронил существенно более эффективны в уничтожении беспозвоночных, поедаемых позвоночными, чем самих позвоночных. Косвенное воздействие редко принимается во внимание в процессе оценки степени риска, наблюдается нехватка данных, несмотря на возможность в будущем выявить воздействие на уровне популяции. Результаты двух полевых исследований конкретных случаев с наблюдаемым

косвенным воздействием уже отражены в опубликованной литературе. В одном из них сокращение количества беспозвоночной добычи при использовании имидаклоприда и фипронила привело к снижению роста вида рыб, в другом сокращение популяций двух видов ящериц было связано с влиянием фипронила на поедаемых ими термитов (смотри исследования, рецензированные Gibbons et al. 2014).

Воздействие на функционирование и услуги экосистемы

Понятие услуг экосистемы широко используется при принятии решений в контексте оценки потенциала использования, преимуществ и потребительской ценности для людей и биосферы, обеспечиваемой хорошо функционирующими экосистемами (напр. Spangenberg et al. 2014), а также как допустимый предел (охраняемое значение) в оценке экологических рисков, вызываемых химическими препаратами. Неоникотиноидные инсектициды и фипронил часто выявляются в компонентах окружающей среды (почва, вода, воздух) в тех местах, где не проводится и не предполагается борьба с вредителями. При этом данные компоненты предоставляют ресурсы для поддержания биоразнообразия и, как известно, находятся под угрозой долговременного и неоднократного загрязнения. Изученная в рамках данной комплексной оценки литература показывает широкую биодоступность данных инсектицидов в мировой окружающей среде на уровнях, считающихся приводящими к летальным и сублетальным последствиям для широкого числа наземных (включая почву) и водных

микроорганизмов, беспозвоночных и позвоночных. Было продемонстрировано, что воздействие на уровне популяции вероятно при наблюдаемых экологических концентрациях для насекомых-опылителей, почвенных беспозвоночных и водных беспозвоночных. Растет объем доказательств того, что это воздействие представляет собой угрозу для функционирования экосистемы, ее устойчивости, услугам и функциям наземных и водных экосистем. Подобные услуги и функции могут включать в себя обеспечение, регуляцию, культивацию или поддержку; а также почвообразование, качество почвы, круговорот питательных веществ, переработку отходов и рекультивацию, опыление, поддержку пищевой сети, очистку воды, регуляцию вредителей и болезней, рассеивание семян, поедание растений и борьбу с сорняками, заготовку пищи (включая рыбу), эстетическую составляющую и отдых.

Недостаток данных

Несмотря на то что данная оценка основывается на большом количестве опубликованных данных, наблюдается все же некоторый недостаток информации. Исследуемые химические составы прошли нормативные испытания на безопасность во многих странах. Однако некоторые потенциальные риски, связанные с их широкомасштабным использованием, до сих пор изучены недостаточно. Остановимся на ключевых недостатках в имеющихся данных.

В большинстве стран источников информации о количестве и местах применения системных пестицидов мало, либо они отсутствуют в открытом доступе. Достоверность данных по используемым количествам являются необходимым условием для реалистичной оценки экологического воздействия и рисков пестицидов.

- Выявление и анализ остатков неоникотиноидов и фипронила в компонентах окружающей среды (почвы, вода, ткани зерновых культур, нецелевая растительность, осадки, прибрежные растения, прибрежные воды и отложения) чрезвычайно ограничены. Хотя их растворимость в воде и способность к перемещению известны, по морским системам имеются, однако, очень немногочисленные данные.
- Еще в большей мере ощущается нехватка данных о трансформации экологически токсических и устойчивых метаболитов неоникотиноидов и фипронила в окружающей среде, следовательно, мы не можем с точностью оценить их вероятное совокупное воздействие на подавляющее большинство организмов.
- Мало изучена трансформация в окружающей среде данных компонентов, например, каким образом свойства грунта влияют на их устойчивость, и происходит ли их накопление в древесных породах (обычно цветущих) после повторной обработки исходным веществом. Поведение продуктов распада (которые могут быть очень токсичными и устойчивыми) в различных компонентах (растениях, почвах, отложениях, воде, пищевых цепочках и т.д.) изучено недостаточно.
- Долгосрочное токсическое воздействие на наиболее восприимчивые организмы исследовано не было. Например, анализы на токсичность проводились только на четырех из предположительно 25000 известных во всем мире видов пчел, существует всего несколько исследований токсичности для других групп опылителей, таких как журчалка

или бабочки и моль. Аналогично, мало внимания уделялось почвенным организмам (помимо земляных червей). Почвенные организмы играют многочисленные роли в почвообразовании и поддержании плодородности почвы. Токсичность для позвоночных (таких как зерноядные млекопитающие и птицы, потребляющие обработанные семена), была проверена лишь на примере нескольких видов.

- Проведенные токсикологические исследования были преимущественно сосредоточены на анализе критической токсичности, в то время как результаты долгосрочного, сильного и хронического воздействия известны менее, несмотря на то, что с экологической точки зрения именно подобное воздействие является наиболее важным для всех организмов в сельскохозяйственной и водной среде. Последствия воздействия в реальных условиях с течением времени также изучены не были.
- Все неоникотиноиды образуют связи с одними и теми же никотиновыми ацетилхолинорецепторами в нервной системе, что предполагает появление кумулятивной токсичности. В настоящее время нет исследований, рассматривающих совокупное или синергетическое одновременное воздействие многочисленных химических веществ класса неоникотиноидов, таких как имидаклоприд, клотианидин, тиаметоксам, динотефуран, тиаклоприд, ацетамиприд, сульфоксафлор, нитенпирам, имидаклотиз, пиаконгдинг и циклоксаприд, в составной дозе, например, эквивалентов имидаклоприда. На сегодняшний день оценки риска выполняются отдельно

для каждого химического вещества, хотя многие нецелевые виды, такие как опылители, подвергаются воздействию одновременно нескольких неоникотиноидов, а также других пестицидов и других стрессовых факторов. Вследствие этого имеется систематическая недооценка рисков. Поскольку определение количества в комплексе совместно действующих пестицидов действительно представляет собой трудноразрешимую проблему, неопределимой отправной точкой могла бы стать единая система показателей, включающая в себя все аспекты воздействия неоникотиноидов на типичные таксоны. .

- Кумулятивная токсичность последовательного и одновременного воздействия не изучалась в рамках нормативной оценки воздействия на окружающую среду и методов управления химическими рисками.
- Сублетальные воздействия, зачастую имеющие летальные последствия в реальных экологических условиях, для большинства организмов изучены не были. Известно, однако, что для пчел они являются значительными, а для немногих других изученных видов сублетальные дозы нейротоксичных химических веществ имели неблагоприятное воздействие на поведение при дозах намного ниже тех, которые ведут к немедленной гибели.
- Взаимодействие между системными инсектицидами и другими вызывающими экологический стресс веществами, такими как пестициды, болезни и недостаток питания, было исследовано лишь в нескольких работах (на примере пчел), и эти исследования выявили важный синергетический эффект. Например, в случае медоносной

пчелы, низкие дозы неоникотиноидов значительно увеличивают восприимчивость к вирусным заболеваниям. Взаимодействие между системными инсектицидами и другими стресс-факторами в иных, чем пчелы, организмах остались практически неизученными. В полевых ситуациях организмы будут почти постоянно находиться под воздействием одновременно нескольких пестицидов, а также других факторов стресса, таким образом наше непонимание последствий данных взаимодействий (или даже неумение разработать подходящую методику для проведения в будущем экспериментов в данной области) является главным недостатком накопленных данных.

- Воздействие данных системных инсектицидов на большое количество экосистемных услуг все еще неясно. Накопление в почве и отложениях может привести нас к предположению о влиянии на фауну почвы, такую как земляные черви и коллемболы, что может в свою очередь иметь последствия для здоровья почвы, ее структуры и проницаемости, а также на кругооборот питательных веществ. Загрязнение растительности по краям полей либо пылью, либо землей, либо поверхностными водами позволяет предположить влияние на фауну, имеющую эстетическую ценность (например, бабочки), и вероятно, на популяцию важных полезных насекомых, переносящих пыльцу или помогающих бороться с вредителями (например, журчалки, хищные жуки). Общее истощение популяций насекомых сельскохозяйственных и водных сред, вероятно, повлияет на насекомоядные виды, такие как птицы и летучие мыши. Существует гипотеза,

что в результате загрязнения пресной воды уменьшится количество беспозвоночной пищи для рыб, что таким образом отразится на рыболовстве. Аналогичная ситуация возможна в прибрежных морских системах, что станет потенциально серьезной угрозой коралловым рифам и лиманам. Ни одна из этих возможностей изучена не была.

- Неясны также краткосрочная и долгосрочная агрономическая польза, приносимая неоникотиноидами и фипронилом. Учитывая показатели их использования, отмечается малое количество опубликованных исследований, оценивающих их пользу для урожая или их рентабельность. Последние исследования (см. Furlan and Kreutzweiser 2014) утверждают, что их использование не приносит чистой прибыли, а по некоторым культурам приводит к экономическим убыткам. В настоящее время неизвестно, как сказалось бы на сельском хозяйстве отсутствие применения данных системных пестицидов или их лишь очень ограниченное применение, если бы данные системные пестициды не применялись или применялись бы в меньшем количестве (хотя недавний частичный отказ в ЕС дает возможность исследовать этот вопрос).

Учитывая описанные недостающие данные, невозможно должным образом и в полной мере оценить связанные с использованием системных инсектицидов риски. Однако рассмотренные в специальном выпуске данные, показывают, что в то время как риски затрагивают многие таксоны, польза для тех систем земледелия, где данные составы используются наиболее интенсивно, ясно доказана не была.

Выводы

Вся существующая литература четко демонстрирует, что сегодняшние уровни загрязнения неоникотиноидами и фипронилом в рамках разрешенного использования (то есть согласно заявленным нормам и при верном применении составов) зачастую превышают пороговый уровень воздействия, вызывающий неблагоприятные последствия для большого количества нецелевых видов, приводя таким образом к различным вероятным негативным биологическим и экологическим последствиям. Предполагается, что сочетание профилактического использования, стойкости, мобильности, системных свойств и хронической токсичности существенно отразится на биоразнообразии и функционировании экосистем. Рассмотренная в рамках данной Всемирной комплексной оценки доказательная база подтверждает, что сегодняшний уровень использования неоникотиноидов и фипронила не является устойчивым способом борьбы с вредителями, препятствующий действию сторон, заинтересованных в сохранении и поддержке биоразнообразия, а также как следствие ставящим под угрозу экологические функции и услуги, оказываемые различными организмами.

В условиях современного сельского хозяйства все более очевиден тот факт, что инсектицидная обработка неоникотиноидами и фипронилом – в особенности при их профилактическом применении – несовместимы с исходными задачами, приведшими к развитию принципов комплексных мер по борьбе с вредителями. Хотя комплексные подходы всегда допускали использование инсектицидов, существуют и иные

эффективные способы, которые могут быть включены в комплекс мер по борьбе с вредителями, где применение химических веществ допускается как исключительно крайняя мера в особых ситуациях. Отметим, что сегодняшняя практика обработки семян представляет собой противоположный подход: химические вещества используются как предпочтительный вариант, а не как последний из возможных. Предпочтение следует отдавать органическому земледелию, диверсификации и чередованию культур, ротации культур, междурядным посадкам, расчету времени для посадки, культивации и орошению почвы, использованию менее чувствительных видов сельскохозяйственных растений в пораженных вредителями районах, использованию приманочных культур, применению средств биологической борьбы и выборочному использованию альтернативных инсектицидов, сопряженных с меньшим риском. Вследствие устойчивости и системной природы фипронила и неоникотиноидов (а также возникшие за предыдущий период загрязнения и вызванная данными свойствами нагрузка на окружающую среду), данные составы несовместимы с комплексными мерами по борьбе с вредителями. Мы признаем тот факт, что комплексный подход несовершенен и находится в процессе постоянного улучшения. Однако имеется богатая база данных и результатов успешной работы в различных ситуациях, требующих борьбы с вредителями. В Европе комплексный подход стал обязательным для всех культур с 1 января 2014 года в соответствии с распоряжением 2009/128/ЕС, однако большинству государств-членов все еще предстоит ввести его в действие и перейти к новому

регулированию, кроме того, иногда комплексный подход недостаточно четко описан.

Рекомендации

Авторы предлагают регулирующим органам рассмотреть возможность применения принципов принятия мер предупреждения и предосторожности в целях дальнейшего ужесточения нормативно-правовых требований к неоникотиноидам и фипронилю, а также возможность подготовки планов для существенного снижения степени их использования во всем мире. Необходимо продолжить исследования иных альтернатив, однако одинаково неотложными являются потребность в проведении просветительной работы с фермерами и другими специалистами, а также необходимость в разработке политики и нормативной базы в целях стимулирования альтернативных аграрных стратегий в области борьбы с вредителями (например, комплексный подход, органическое производство и т.д.) Добавим, что существует потребность в проведении дальнейших исследований для улучшения понимания институциональных и других барьеров, мешающих широкомасштабному использованию доказанных устойчивых аграрных методик, которые могут служить альтернативой неоникотиноидам и фипронилю, а также многим другим пестицидам.

Во многих странах результативность процесса регулирования выдачи разрешений на пестициды должна быть внимательно изучена, ошибки прошлого должны быть учтены. Например, по всему миру широко использовались другие хлорорганические инсектициды, такие как

ДДТ, прежде чем были выявлены их устойчивое, биоаккумуляционное и разрушительное воздействие на экосистемы. Впоследствии эти вещества были запрещены в большинстве стран. Фосфорорганические соединения были в большинстве своем изъяты из употребления после запоздалого понимания, что они представляют собой большой риск для человека и природы. Системные инсектициды, неоникотиноиды и фипронил, являются новым примером очевидных недостатков нормативно-правового контроля пестицидов и процесса санкционирования, которые не учитывают в полной мере риски масштабного применения инсектицидов широкого спектра действия.

Благодарность

В рукописи использовались материалы обсуждения Всемирной рабочей группы по системным пестицидам, состоявшегося во время пленарных встреч в Париже (2010), Бате (2011), Кембридже (2012), Монтегротто, Падове (2012), Лувен-ля-Нев (2013) и Легнаро и Падове (2013). Фамилии авторов указаны в алфавитном порядке, за исключением первого автора, также ответственного за переписку. Все авторы работают в государственных учреждениях или университетах, за исключением В. Амарал-Роджерс, являющегося сотрудником Buglife, британского благотворительного учреждения, посвященного охране беспозвоночных, Д.В.Гиббонс, являющегося сотрудником RSPB, британского благотворительного учреждения по охране природы, Д.А. Нум, чья независимая работа в рабочей группе было финансирована фондом Stichting Triods, и Н. Саймон-Делсо, являющегося

сотрудником CARI (ассоциации при поддержке бельгийского правительства). Статьи Дж. Сеттель и М. Вьмерс представлены на сайте www.legato-project.net (основан ВМБФ, Министерство образования и науки Германии). Работа была финансирована Фондом поддержки независимых исследований «Исчезновение пчел и системные пестициды» Фонда Триодос. Данный фонд поддержки был создан на пожертвования Фонда «Адессиум» (Нидерланды), фонда «Act beyond trust» (Япония), университета г.Утрехта (Нидерланды), Фонда Stichting Triods (Нидерланды), Gesellschaft fuer Schmetterlingsschutz (Германия), М.А.О.С. Гравин ван Биландт Стихтинг (Нидерланды), Zukunft Stiftung Landwirtschaft (Германия), Study Association Storm (студенческая ассоциация экологических наук университета г.Утрехта), Deutscher Berufs- und Erwerbsimkerbund e. V. (Германия), Gemeinschaft der europäischen Buckfastimker e. V. (Германия), а также частных лиц. Спонсоры в планировании исследования, сборе данных и их анализе, в решении об издании и подготовке рукописи участия не принимали.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Открытый доступ

Данная статья публикуется в соответствии с условиями свободной лицензии Creative Commons Attribution License, разрешающей любое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе, при

условии указания автора (авторов) оригинала и источник.

Библиография

- Bonmatin J-M, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser D, Krupke C, Liess M, Long E, Marzaro M, Mitchell E, Noome D, Simon-Delso N, Tapparo A (2014) Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environ Sci Pollut Res.* doi:10.1007/s11356-014-3332-7
- Chagnon M, Kreutzweiser DP, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, van der Sluijs JP (2014) Risks of large scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environ Sci Pollut Res.* doi:10.1007/s11356-014-3277-x
- Di Prisco G, Cavaliere V, Annoscia D, Varricchio P, Caprio E, Nazzi F, Gargiulo G, Pennacchio F (2013) Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *Proc Natl Acad Sci USA* 110:18466–18471. doi:10.1073/pnas.1314923110
- Furlan L and Kreutzweiser DP (2014) Alternatives to neonicotinoid insecticides for pest control: case studies in agriculture and forestry. *Environ Sci Pollut Res.* doi:10.1007/s11356-014-3628-7
- Gewehr M (2012) Pesticidal mixtures. *Eur Patent EP 2 481 284 A2*
- Gibbons D, Morrissey C and Mineau P (2014) A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res.* doi:10.1007/s11356-014-3180-5
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, Roe RM (2004) Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Prot*

- 23:371–378.
doi:[10.1016/j.cropro.2003.08.018](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.018)
- Köhler H-R, Triebskorn R (2013) Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science* 341:759–765.
doi:[10.1126/science.1237591](https://doi.org/10.1126/science.1237591)
- Liess M, Foit K, Becker A, Hassold E, Dolciotti I, Kattwinkel M, Duquesne S (2013) Culmination of low-dose pesticide effects. *Environ Sci Technol* 47:8862–8868
- Maxim L, Van der Sluijs JP (2013) Seed-dressing systemic insecticides and honeybees. Chapter 16, pp. 401–438. In: European Environment Agency (ed) Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. European Environment Agency (EEA) report 1/2013, Copenhagen
- Pisa L, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bonmatin J-M, Downs C, Goulson D, Kreutzweiser D, Krupke C, Liess M, McField M, Morrissey C, Noome DA, Settele J, Simon-Delso N, Stark J, van der Sluijs, van Dyck H, Wiemers M (2014) Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environ Sci Pollut Res*. doi:[10.1007/s11356-014-3471-x](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x)
- Satchivi NM, Schmitzer PR (2011) Synergistic herbicide/insecticide composition containing certain pyridine carboxylic acids and certain insecticides. US Patent US 2011/0207606
- Simon-Delso N, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, Bonmatin JM, Chagnon M, Downs C, Furlan L, Gibbons DW, Giorio C, Girolami V, Goulson D, Kreutzweiser DP, Krupke C, Liess M, Long E, McField M, Mineau P, Mitchell EAD, Morrissey CA, Noome DA, Pisa L, Settele J, Stark JD, Tapparo A, van Dyck H, van Praagh J, van der Sluijs JP, Whitehorn PR and Wiemers M (2014) Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environ Sci Pollut Res*. doi:[10.1007/s11356-014-3470-y](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y)
- Spangenberg JH, Görg C, Thanh Truong D, Tekken V, Bustamante JV, Settele J (2014) Provision of ecosystem services is determined by human agency, not ecosystem functions. Four case studies. *Int J Biodivers Sci Ecosyst Serv Manag* 10:40–53
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL, Goulson D (2012) Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336:351–352

Данный документ был впервые опубликован в журнале издательства «[Springer](https://www.springer.com)» «[Environmental Science and Pollution Research](https://www.springer.com/journal/10107)» (Исследования в области экологии и загрязнения окружающей среды) под заголовком:

“[van der Sluijs JP, Amaral-Rogers V, Belzunces LP, et al. \(2015\) Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. Environ Sci Pollut Res 22:148–154. doi: 10.1007/s11356-014-3229-5](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3229-5)”.

Русский перевод сделан, благодаря проекту PerMondo, который привлекает волонтеров для бесплатного перевода сайтов и документов для общественных организаций. Управление проектом - Mondo Agit. Переводчик: Елена Зотова

PERMONDO
Translations for non-profit

