

УДК 661.718.1:542.92:504.5

## Исследование процессов трансформации фосфорсодержащих органических веществ в окружающей среде

© 2014. Е. В. Брызгалина, к.э.н., нач. отдела, В. Л. Рудь, к.х.н.,  
Д. А. Зыгин, к.х.н., М. К. Беломытцев, ст. офицер,  
Научно-исследовательский центр Федерального управления  
по безопасному хранению и уничтожению химического оружия,  
e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье представлен материал о поведении в почве, воде ксенобиотических соединений фосфора – фосфонатов, производных фосфорсодержащих отравляющих веществ и пестицидов. Отмечено, что в данных соединениях наиболее прочной является связь P–C, в отличие от более лабильных связей O–P, P–S и P–N. При длительном нахождении фосфорорганических отравляющих веществ и фосфорорганических соединений в окружающей среде одним из наиболее устойчивых соединений, образующихся в процессе их трансформации, является метилфосфоновая кислота. Поэтому при обследовании территорий в районах хранения и уничтожения химического оружия, а также сельхозугодий, где применялись ранее фосфорсодержащие пестициды, необходимо в пробах почвы, воды, донных отложений и растительности определять метилфосфоновую кислоту как конечный продукт трансформации фосфорорганических отравляющих веществ и фосфорорганических соединений.

The paper presents the behavior of xenobiotic compounds of phosphorus, such as phosphonates, phosphorus toxic substances derivatives, and pesticides in soil and in water. It is stated that in these compounds the linking P–C is most strong, as compared with the linking O–P, P–S, and P–N. Methylphosphonic acid is one of the most stable compounds formed at transformation of organophosphorus agents and organophosphorus compounds during their long stay in the environment. Thus, examining the areas of chemical weapons storage and destruction, as well as examining the farmland, where phosphorus pesticides had been applied previously, it is necessary to determine methylphosphonic acid in samples of soil, water, sediment, and vegetation as this acid is the end product of organophosphorus agents and organophosphorus compounds transformation.

Ключевые слова: фосфорорганические соединения, фосфорсодержащие отравляющие вещества, трансформация, глифосат, метилфосфоновая кислота.

Keywords: organophosphorus compounds, phosphorus-containing toxic substances, transformation, glyphosate, methylphosphonic acid.

Одной из наиболее острых проблем экологической безопасности является деструкция органических ксенобиотических соединений фосфора – фосфонатов. К производным фосфонатов антропогенного происхождения относятся нервно-паралитические отравляющие вещества (ОВ) (ОВ типа Vx, зарин и зоман) [1] и фосфорсодержащие пестициды [2]. Фосфонаты являются классом фосфорорганических соединений (ФОС), характеризующиеся наличием химически стабильной фосфор-углеродной связи (P–C) в отличие от более лабильных O–P, P–S и P–N связей. Связь P–C крайне устойчива к химическому гидролизу, тепловому разрушению, термическому расщеплению, а также к фотолизу. Связь P–C встречается в широком ряду природных и антропогенных ФОС. Антропогенные фосфорорганические соединения являются основным источником загрязнения окружающей среды.

Одним из вероятных продуктов трансформации фосфорорганических отравляющих веществ (ФОВ) и фосфорорганических соединений в воде (почве) может быть метилфосфоновая кислота (МФК) (рис.). Она является основой многих фосфорсодержащих пестицидов, применяемых в качестве гербицидов, дефолиантов, десикантов, инсектицидов, акарицидов, зооцидов и фунгицидов, а также является составной частью ОВ (зарина, зомана и ОВ типа Vx).

В настоящее время во всём мире для борьбы с сорняками широко применяются ФОС – универсальные средства для борьбы с большинством сорных растений – пестициды, в частности, водорастворимый твёрдый препарат «Раундап» (англ. – Roundup), его товарные аналоги: «Ураган», «Удар», «Торнадо», «Аккорд», «Родео», «Зеро», «Глифор», «Алаз», «Глисол». Действующий



Примечание:

Формула	Полное и сокращенное название соединения
$  \begin{array}{c}  \text{HO} \quad \text{O} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\  \diagdown \quad \parallel \quad   \quad   \quad   \quad \diagup \\  \text{P} - \text{C} - \text{N} - \text{C} - \text{C} \\  \diagup \quad   \quad   \quad   \quad \diagdown \\  \text{HO} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{OH}  \end{array}  $	2-[(фосфонометил)амино] уксусная кислота (глифосат)
$  \begin{array}{c}  \text{HO} \quad \text{O} \\  \diagdown \quad \parallel \\  \text{P} - \text{CH}_3 \\  \diagup \\  \text{HO}  \end{array}  $	метилфосфоновая кислота (МФК)
$  \begin{array}{c}  \text{HO} \quad \text{O} \\  \diagdown \quad \parallel \\  \text{P} - \text{CH}_2\text{NH}_2 \\  \diagup \\  \text{HO}  \end{array}  $	аминометилфосфоновая кислота (АМФК)
$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{HO} - \text{NHCH}_2 - \text{C} \\  \diagdown \\  \text{OH}  \end{array}  $	гидроаминоуксусная кислота (ГАУК)
$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{NH}_2\text{CH}_2 - \text{C} \\  \diagdown \\  \text{OH}  \end{array}  $	аминоуксусная кислота (АУК)
$  \begin{array}{c}  \text{O} \\  \parallel \\  \text{CH}_3 - \text{C} \\  \diagdown \\  \text{OH}  \end{array}  $	уксусная кислота (УК)

падая в организм человека, глифосат, являясь сильным канцерогеном, может спровоцировать онкологические заболевания. Однозначно доказано, что стойкость глифосата в воде ниже, чем в почве. Глифосат способен мигрировать в почве. Его присутствие регистрировалось на расстоянии до 800 метров от места внесения. Следовательно, под воздействие препарата могут попадать территории, не предусмотренные к обработке. Этот гербицид был обнаружен в водных источниках после его применения в сельском, городском и лесном хозяйстве [3].

При длительном нахождении глифосата в естественных условиях (в почве, воде) в первую очередь деструкция его молекул будет осуществляться по разрыву химических связей С–N и N–С с образованием ряда продуктов, в том числе, и метилфосфоновой кислоты.

При комплексном обследовании территории объектов по хранению и уничтожению

химического оружия в пробах почвы, воды, донных отложений при количественном химическом анализе, в первую очередь, необходимо определить МФК как конечный продукт трансформации ФОВ [4].

### Литература

1. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Воениздат, 1990. 271 с.
2. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М.: «Химия», 1987. 712 с.
3. Кузнецова Е.М., Чмиль В.Д. Глифосат: поведение в окружающей среде и уровни остатков // Современные проблемы токсикологии. 2010. № 1. С. 87.
4. Капашин В.П., Пункевич Б.С., Элькин Г.И. Метрологическое обеспечение уничтожения химического оружия – основа безопасности химического разоружения в Российской Федерации. М.: ФУБХУХО, 2010. С. 44.