

Наивысший балл набрали петунии: Карпет Синий шнурок (компактный гибрид) и Черри тарт (махровый), т.е. из рассматриваемых сортов они оказались наиболее устойчивы к неблагоприятным условиям.

#### Выводы

На основании проведенных исследований и наблюдений нами рекомендуются для выращивания в целях декоративного озеленения в условиях открытого грунта Нижнего Поволжья следующие петунии многоцветковые:

– по наибольшей продолжительности цветения: Карпет Синий шнурок и Соня Орхид (компактные сорта), Дуо Земляника парфайт (махровый сорт);

– по устойчивости к неблагоприятным условиям: Карпет Синий шнурок (компактный гибрид), Черри тарт (махровый гибрид).

В условиях с недостаточным увлажнением можно высаживать Мерлин Синее утро, при своевременных уходах и пе-

риодических укрытиях от яркого полуденного солнца и ливней – Соня Орхид (компактный сорт) и Дуо Земляника парфайт (махровый).

#### Библиографический список

1. Сокольская О.Б. Следы исчезнувших веков: принципы и особенности паркостроения юго-западной части Приволжской возвышенности: история, современное состояние и сохранение. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова», 2008. – 404 с.

2. Минх А.Н. Город Аткарск // Материалы для историко-географического описания Саратовской губернии по рукописям и исследованиям Члена Императорского Русского Географического Общества Александра Николаевича Минха, с 15 рисунками. – Аткарск: Тип. В.И. Миловидова, 1908. – 157 с.

3. Колесников Е.Г., Горбаченков М.В. Петуния, сурфиния, калибрахоа. – М.: Издательский Дом МСП, 2004. – 64 с.



УДК 504.054

**Е.Н. Куликова-Хлебникова,  
Ю.В. Робертус,  
А.В. Кивацкая**

### ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ ПЕСТИЦИДОВ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ ГОРНОГО АЛТАЯ

**Ключевые слова:** Горный Алтай, хлорорганические пестициды, загрязнение, природные среды, почвы, деструкция, отношение метаболитов, время распада.

#### Введение

К числу стойких хлорорганических пестицидов (ХОП), применявшихся в прошлом на территории Горного Алтая, относятся ДДТ, ГХЦГ и, частично,  $\gamma$ -ГХЦГ

(линдан) и 2,4-Д. В результате их применения и зачастую небрежного хранения в ряде населенных пунктов республики сформировалась серия различных по площади и интенсивности очагов загрязнения ХОП почв, растительности, донных осадков и, в незначительной степени, природных вод [1].

В связи с высокой стабильностью этих очагов и возможностью попадания ХОП

по пищевым цепочкам в организм человека существует проблема ремедиации загрязненных ими почв. Для ее решения необходимо понимание процессов метаболизма ХОП и лимитирующих его факторов в различных природных обстановках изученной территории.

*Целью работы* является изучение особенностей метаболизма хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХЦГ) в объектах окружающей среды в условиях горной страны (на примере Республики Алтай), изучение слабо освещаемых в специальной литературе особенностей трансформации остаточных концентраций ДДТ и ГХЦГ в почвах в зависимости от их уровня и давности присутствия, глубины залегания, физических свойств почв и пр.

### Объекты и методика исследований

Объектом изучения явились почвогрунты и сопряженные с ними природные среды в очагах загрязнения ДДТ и ГХЦГ, выявленных на территории 30 населенных пунктов Республики Алтай. В рамках проведенных исследований было взято более 1300 проб природных сред и образцов растительных продуктов питания, проанализированных методом газовой хроматографии на присутствие ДДТ и его метаболитов (ДДД, ДДЭ), а также основных изомеров ГХЦГ ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) в лаборатории по анализам пестицидов ФГУ «Центральная научно-производственная ветеринарная радиологическая лаборатория» (г. Барнаул). Условия анализа: хроматограф «Цвет-500 М» с детектором ДПР; 1 м колонка, 5% SE-30 (0.16-0.20 мм);  $t$  колонки – 190-210°C,  $t$  детектора – 300°C,  $t$  испарителя – 220-240°C.

### Обсуждение результатов

Известно, что хлорорганические пестициды ДДТ и ГХЦГ характеризуются высокой степенью персистентности при относительно низкой подвижности в окружающей среде. Их стабильность в природных условиях зависит от ряда факторов – климата, типа почв, их рН и влажности, содержания гумуса, механического состава, наличия микроорганизмов и пр. Тип и скорость преобразований зависят также от химической структуры пестицида и его устойчивости.

Так, ДДТ в аэробных условиях в процессе дегидрохлорирования и дехлорирования превращается, соответственно, в устойчивый метаболит ДДЭ и промежуточный малотоксичный ДДД. Ряд исследо-

вателей рассматривают метаболизм ДДТ в почвах как его детоксикацию *in situ* в природных условиях [3].

Соотношение ДДТ и его производных позволяет приблизительно оценить время появления и распада остаточных концентраций пестицида, содержащегося в депонирующей загрязнение почвах. Так, отношение  $(\text{ДДЭ} + \text{ДДД}) / \text{ДДТ} > 1$  указывает на «старое» применение ДДТ и на его активную трансформацию микробиологическим путем, а отношение  $(\text{ДДЭ} + \text{ДДД}) / \text{ДДТ} < 1$  – на «свежее» его применение и слабую деструкцию микроорганизмами [2].

Показателями степени деструкции технического препарата ГХЦГ, представляющего собой смесь 8 изомеров, являются содержание стабильного  $\beta$ -изомера и степень перехода  $\gamma$ -ГХЦГ в более устойчивый  $\alpha$ -изомер [2].

Микробиологическая деструкция присутствующих в почвах ХОП зависит от ряда факторов: температура, рН, Eh, влажность, аэрируемость, наличие «специализированных» микроорганизмов и пр. [3]. Их оптимального сочетания в природе практически не наблюдается, поэтому процесс трансформации пестицидов ограничивается его начальными стадиями.

Особенности метаболизма ХОП в природных условиях Горного Алтая практически не изучены. Полученные авторами данные позволяют утверждать, что, несмотря на полувековой период с начала применения ДДТ в регионе, ни в одном из изученных очагов загрязнения почв не установлено превышения суммы метаболитов ДДД и ДДЭ над остаточным содержанием пестицида.

Еще более низкая, по сравнению с Горным Алтаем, относительная доля суммы метаболитов ДДТ (менее 25%) проявлена в его захоронении 1950-х гг. в Томской области [4]. Это ставит под сомнение универсальный характер показателя  $(\text{ДДЭ} + \text{ДДД}) / \text{ДДТ}$  для определения времени нахождения ДДТ в почве.

Предварительно установлено, что более высокая степень метаболизма ДДТ в почвах проявлена в случае его пониженных концентраций, т. е. при более рассредоточенном распределении пестицида его разложение протекает интенсивнее и, наоборот, замедленная в природных условиях деструкция ДДТ характерна для участков его повышенных концентраций (табл. 1). В минимальной степени она

проявлена для остатков устаревших ХОП в местах их захоронения.

В профиле почв доля остаточных концентраций ДДТ увеличивается с глубиной, что наряду со снижением роли его конечного метаболита ДДЭ говорит о более интенсивной деструкции ДДТ в поверхностных условиях (табл. 2).

Анализ отношения уровня присутствия исходных пестицидов и их производных в объектах окружающей среды и растительных продуктах питания свидетельствует об их выдержанном характере в природных средах для ДДТ и его метаболитов и менее выдержанном – для изомеров ГХЦГ (табл. 3). Это указывает на то, что деструкция ХОП происходит, главным образом, в почвах, а сопряженные с ними среды являются преимущественно трансляторами сложившихся в почвах отношений исходных пестицидов и их трансформантов.

Полученные данные по метаболизму ДДТ позволили рассчитать по используе-

мой в экотоксикологии экспоненциальной зависимости время полураспада и распада на 95 и 99% исходных концентраций пестицида в почвах изученных очагов загрязнения, находящихся в разных природно-климатических зонах – от сильно увлажненных условий черневой тайги северо-востока региона (с. Артыбаш) до сухостепных зон межгорных котловин (с. Ябоган).

Согласно проведенным расчетам, основанным на экспоненциальной зависимости остаточного содержания ДДТ от времени [2], время его полураспада в почвах этих очагов составит 50-70 лет, а время его полного распада – 330-450 лет (табл. 4). При этом максимальная стабильность пестицида проявлена в более засушливых условиях, что подтверждает данные о приоритетности увлажнения почв над температурным режимом при разложении ДДТ в природных условиях [3].

Таблица 1

Доля метаболитов ХОП (%) для разных уровней их содержания в почвах (n = 869)

ХОП, мг/кг	ДДТ, %	ДДД, %	ДДЭ, %	α-ГХЦГ, %	γ-ГХЦГ, %
> 100	63,4	32,6	6,3	50,5	49,5
100-10	62,1	30,5	9,4	60,8	39,2
10-1	54,3	28,5	19,3	65,4	34,6
< 1	53,7	25,9	22,8	85,3	14,7

Таблица 2

Распределение ХОП и их метаболитов в профиле почв очагов загрязнения (n = 255)

Глубина	ДДТ, %	ДДД, %	ДДЭ, %	α-ГХЦГ, %	β-ГХЦГ, %	γ-ГХЦГ, %
0-0,2 м	51,5	24,0	24,5	78,1	19,0	12,9
0,2-0,5 м	54,7	24,8	20,5	71,4	14,8	13,8
> 0,5 м	61,5	25,9	12,6	68,9	14,7	16,4

Таблица 3

Отношение средних концентраций метаболитов (изомеров) ХОП в природных средах и в растительных продуктах питания

Отношение	Почвы n = 869	Растения n = 104	Донные осадки n = 37	Природные воды n = 53	Злаки n = 5	Овощи n = 20
ДДЭ:ДДТ	1:17	1:17	1:17	1:25	1:10	1:13
ДДД:ДДТ	1:2	1:5	1:4	1:10	1:2	1:6
α/γ-ГХЦГ	5:1	3:1	3:1	1:1	4:1	5:1
β/γ-ГХЦГ	1 :1	1.7:1	1 :2	1 :1.5	Нет данных	

Таблица 4

Расчетное время исчезновения остатков ДДТ в почвах очагов загрязнения, лет

Пункты	Типы почв	Дата применения	T <sub>50</sub>	T <sub>95</sub>	T <sub>99</sub>
с. Артыбаш	Серая-лесная	1966 г.	50	215	330
с. Камлак	Лугово-черноземная	1967 г.	58	250	380
с. Ябоган	Темно-каштановая	1967 г.	68	300	450

Существование возрастного тренда усредненных значений доли исходного ДДТ и его конечного метаболита ДДЭ в почвах очагов загрязнения на территории ряда населенных пунктов республики свидетельствует о заметном превалировании остаточных концентраций ДДТ над образованными метаболитами и о возможности применения вышеотмеченных расчетов для определения времени применения пестицида (рис.).

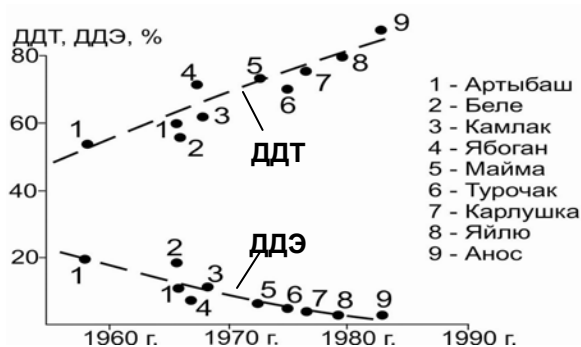


Рис. Временные тренды доли ДДТ и ДДЭ в почвах населенных пунктов

Так, минимальное содержание ДДТ (максимальное ДДЭ) проявлено в почвах на участках бывших плотбищ в с. Артыбаш, где в 1950-х годах впервые в Горном Алтае был применен пестицид.

### Выводы

Между остаточными концентрациями ДДТ и его метаболитами в почвах существует тесная прямая зависимость, свидетельствующая о равновесных процессах трансформации пестицида в природных условиях.

Значимые корреляционные связи ДДТ и его производных с физико-химическими свойствами почв — рН, ЕКО, гумус, физглина ( $r = 0,56-0,94$  при уровне значимости 95%) усиливаются в ряду ДДТ-ДДД-ДДЭ,

то есть в направлении образования более стабильных метаболитов.

Уровни присутствия и соотношение метаболитов ДДТ и изомеров ГХЦГ в растениях в целом наследуют эти показатели в исходных почвах.

На глубине ДДТ и ГХЦГ разлагаются менее интенсивно, чем в приповерхностных условиях, эта же закономерность характерна для более высоких остаточных концентраций этих пестицидов в почве.

Уровень трансформации ДДТ и ГХЦГ в целом зависит от срока их нахождения в почвах, в условиях региона полураспад исходных концентраций ДДТ происходит в среднем за 50-70 лет, а полный его распад — за 300-500 лет.

### Библиографический список

1. Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Кивацкая А.В., Куликова-Хлебникова Е.Н. Особенности поведения ДДТ и его метаболитов в прибрежных почвах Телецкого озера (Горный Алтай) // Современные проблемы загрязнения почв: матер. III Междунар. науч. конф. — М., 2010. — С. 421-425.
2. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А. Эколого-геохимическая оценка «отпечатков» стойких хлорорганических пестицидов в системе почва — поверхностная вода // Агрохимия. — 2008. — № 1. — С. 52-56.
3. Чекарева Т.Г., Галиулин Р.В., Ананьева Н.Д. и др. Особенности разложения ДДТ в различных почвах в зависимости от гидротермических условий // Химия в сельском хозяйстве. — 1981. — Т. XIX. — № 10. — С. 29-34.
4. Ивасенко В.Л., Адам А.М., Цехановская Н.А. и др. Исследование поведения пестицида ДДТ в подземных захоронениях // Химия и химическая технология. — 2002. — Т. 45. — Вып. 3. — С. 59-61.

