

# ЭКОЛОГИЯ



УДК 504.054

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

## ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИМИ ПЕСТИЦИДАМИ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

**Ключевые слова:** природные среды, склады хранения, очаги загрязнения, хлорорганические пестициды, ДДТ, ГХЦГ, остаточные концентрации, особенности загрязнения, метаболизм, миграция, транслокация.

### Введение

Среди разнообразных химических экотоксикантов антропогенного происхождения к числу наиболее стабильных и опасных для окружающей среды и человека относятся хлорорганические пестициды (ХОП), из которых ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) и ГХЦГ (гексахлорциклогексан) широко применялись в Горном Алтае в 1950-1980-е годы в качестве инсектицидов для различных хозяйственных целей.

За этот период в Республике Алтай (РА) произошло загрязнение многих селитебных зон, где образовалось большое количество локальных очагов концентрированного загрязнения ХОП депонирующих природных сред, главным образом почв, а также грунтов, растений и донных осадков водоемов.

Это обстоятельство, а также способность ХОП накапливаться в трофических цепях в сочетании с их высокой токсичностью обуславливают значительную медико-экологическую опасность загрязнения ими селитебных и рекреационных зон, а также агроландшафтов, которые до последнего времени в Республике Алтай не изучались на присутствие ХОП [1].

### Объекты и методика исследований

В 2006-2011 гг. авторами проведено обследование 57 населенных пунктов РА, в пределах которых ранее осуществлялось хранение ДДТ и ГХЦГ, с целью уточнения их остаточных концентраций и характера распределения в природных средах. Объектами изучения являлись склады бывшего стационарного и полевого хранения ХОП, а также обработанные ими площади.

Опробование этих объектов проводилось на первом этапе по двум крестообразным профилям через их центр, которые при дальнейшем картографировании дополнялись линейными или концентрическими профилями через 20-40 м. Расстояние между пунктами пробоотбора варьировалось от 5-10 до 30-50 м. Большинство проб почв взято из горизонтов А, АВ (интервал глубин 0-10, 0-20 см) с использованием стандартного почвенного бура. На ряде детально изученных участков проводилось погоризонтное опробование до глубины 2-2,5 м.

Всего было взято 1423 пробы природных сред и продуктов питания растительного и животного происхождения, для которых в лаборатории ФГУП «Центральная научно-производственная ветеринарная радиологическая лаборатория» (г. Барнаул) методом газовой хроматографии определено содержание ДДТ (ДДД, ДДЭ) и  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -изомеров ГХЦГ. Анализы проводились на

хроматографах «Кристалл», «Agilent». Для определения больших концентраций ХОП использовался способ многократного разбавления растворов. Средняя погрешность определения содержания ДДТ и его метаболитов составила 27,3%, а изомеров ГХЦГ – 17,5%.

Основные нормативные документы на методы испытаний: ГОСТ Р53217-2008 «Качество почвы. Определение содержания хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов»; ГОСТ Р51209-98 «Вода питьевая. Методика определения содержания хлорорганических пестицидов газожидкостной хроматографией» (для продуктов – ГОСТы 30349-96, 23452-79, МУ № 2142-80).

**Обсуждение результатов**

Проведенным исследованием установлено, что современные уровни присутствия ХОП в загрязненных ими почвах РА варьируются от менее 1 мкг/кг (предел обнаружения) на фоновых участках до первых г/кг в эпицентрах выявленных очагов остаточного загрязнения почв (табл. 1).

Умеренно повышенные концентрации ХОП в почвах (0,1-1 мг/кг, или 1-10 ПДК) установлены в пределах бывших пионерлагерей, «старых» туристских баз, на плантациях хмеля и ряде участков ветеринарной обработки скота. Повышенное и высокое их содержание (1-10 мг/кг) характерно для почв бывших складов хранения пестицидов. Очень высокие концентрации ХОП в почвах

(10-100 мг/кг и более) встречены на отдельных участках бывших стационарных складов и мест полевого хранения пестицидов, где имеются их визуально различимые остатки.

Для загрязненных пахотных почв характерно низкое и повышенное содержание ДДТ – до 1,75 мг/кг, в среднем 0,27 мг/кг (2,7 ПДК). Содержание в них ДДТ и ДДЭ, соответственно, на 25 и 18% ниже, чем в сопряженных целинных почвах. Это говорит о более быстрой деструкции ДДТ при агрообработке почв.

Картографирование загрязненных ХОП участков показало, что все они имеют ясно выраженный локализованный очаговый характер [2]. По характеру проявления эти очаги отчетливо делятся на две группы, основная из которых представлена локальными эллипсоидными ореолами на объектах прошлого хранения пестицидов, а вторая – некартографируемыми очагами на участках их применения – поля, хмельники, места массового отдыха и пр. (рис. 1).

Распределение ХОП в очагах первой группы относится в основном к высококонтрастному типу, для которого характерно уменьшение остаточных концентраций пестицида от центра к периферии очага. Установлено, что при удалении от эпицентров очагов на расстояние кратное 20 м, концентрации ДДТ в почвах уменьшаются в среднем в 10 раз, а его доля – на 25-43%. Такая же тенденция проявлена для травянистой растительности (табл. 2).

Таблица 1

Параметры распределения ДДТ, ДДЭ в загрязненных ХОП природных средах

Параметры	Почвы, грунты, мг/кг		Растения, мг/кг		Природные воды, мг/дм <sup>3</sup>		Донные осадки, мг/кг	
	ДДТ	ДДЭ	ДДТ	ДДЭ	ДДТ	ДДЭ	ДДТ	ДДЭ
min	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,001	0,001
max	2270,7	32,740	7,782	0,879	0,0180	0,0024	6,862	0,254
$\bar{x}$	4,759	0,405	0,856	0,122	0,0048	0,0008	0,502	0,029

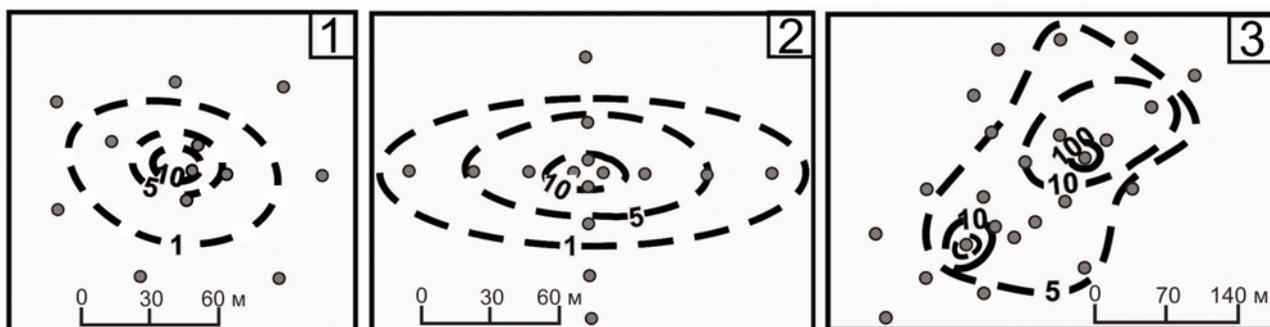


Рис. 1. Очаги загрязнения почв ХОП (в ед. ПДК) в местах их хранения: 1 – на месте расходного склада ДДТ в с. Подгорное; 2 – на месте полевого хранения ГХЦГ в с. Кызыл-Таш; 3 – на месте полевого хранения ДДТ в с. Камлак

Таблица 2

Тренды содержания ДДТ в почве при удалении от эпицентров очагов загрязнения

Расстояние от эпицентра очага загрязнения, м	Очаг «Вертолетная площадка»				Очаг «Усадьба Блинова»			
	почвы		растение (осочка)		почвы		растение (осочка)	
	ДДТ, мг/кг	ДДТ, %	ДДТ, мг/кг	ДДТ, %	ДДТ, мг/кг	ДДТ, %	ДДТ, мг/кг	ДДТ, %
0	2270,7	88,4	6,81	77,7	1077,45	68,2	6,69	79,4
10-20	183,56	59,4	1,89	76,0	157,16	59,0	3,28	71,7
20-40	15,03	55,7	1,09	71,4	37,18	54,0	1,17	67,7
40-60	1,42	53,3	0,17	71,5	0,58	53,3	0,28	67,5
60-80	0,38	50,8	0,15	62,3	0,08	52,5	0,06	62,6

Таблица 3

Содержание ДДТ и ДДЭ в почвах очагов загрязнения населенных пунктов РА

Σ ДДТ, мг/кг	с. Артыбаш		с. Беле		с. Камлак		с. Майма		с. Яйлю	
	ДДТ, %	ДДЭ, %	ДДТ, %	ДДЭ, %	ДДТ, %	ДДЭ, %	ДДТ, %	ДДЭ, %	ДДТ, %	ДДЭ, %
> 100	63,4	6,3	84,9	1,9	72,1	3,7	82,4	1,7	–	–
100-10	62,1	9,4	–	–	71,1	10,5	–	–	85,8	1,1
10-1	54,3	19,3	59,9	19,2	60,4	12,2	74,4	3,2	79,8	2,2
< 1	53,7	22,8	53,9	20,3	59,0	18,9	72,8	7,4	71,4	5,3

Доля ДДТ в загрязненных почвах сел РА варьируется в пределах 55-87%, для γ-изомера ГХЦГ – 18,7-40,2%. Намечается зависимость между долей исходного препарата и временем его применения. Так, в очагах загрязнения почв, сформированных в 1950-1960-е гг., доля ДДТ составляет 55-65% (рис. 2).

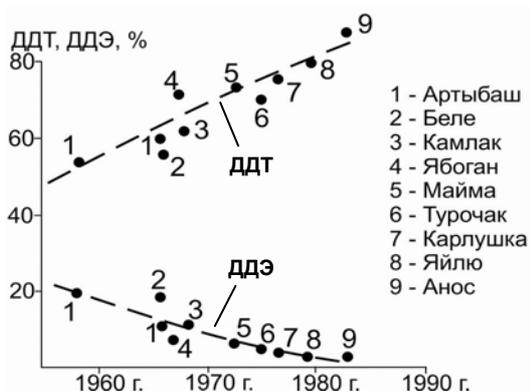


Рис. 2. Зависимость доли ДДТ и ДДЭ в почвах от времени применения пестицида

Между ХОП и их трансформантами в почвах проявлены тесные связи (0,47-0,90 при уровне значимости 95%). Для содержания ДДТ, ДДД и ДДЭ они положительные, для их относительных концентраций – отрицательные, особенно между долями ДДТ и ДДЭ. Между абсолютным и относительным содержанием изомеров ГХЦГ преобладают значимые отрицательные связи (-0,43...-0,93 при уровне значимости 95%), кроме прямых связей его γ- и α-изомеров.

Установлено, что доля исходного препарата ДДТ в почвах изученных очагов загрязнения снижается при уменьшении его содержания, а конечного метаболита ДДЭ – увеличивается (табл. 3). Эта особенность загрязнения ДДТ указывает на более высокую степень метаболизма (трансформации) пестицида в случае его пониженных исходных концентраций в почвах, т.е. при рассредоточенном распределении пестицида его разложение протекает более интенсивно.

Подобная ситуация проявлена и для остаточных концентраций ГХЦГ в почвах. Доля действующего вещества (γ-ГХЦГ) снижается, а более устойчивого α-ГХЦГ – увеличивается при уменьшении содержания пестицида в почве, что также свидетельствует о более интенсивной деструкции пестицида в условиях региона при его пониженных концентрациях. Характерно, что амплитуда изменений доли изомеров ГХЦГ в 1,5-2 раза больше, чем для метаболитов ДДТ.

Особенностью распределения ХОП является приуроченность их максимальных концентраций на глубине к эпицентрам очагов загрязнения, т.е. глубина проникновения пестицида прямо зависит от уровня его присутствия в поверхностном слое почвы, что указывает на наличие внутривертикальной миграции и на сопряженность содержания ХОП на поверхности и глубине [3].

На всех очагах загрязнения наибольшие концентрации пестицидов ХОП и их метаболитов (изомеров) проявлены в приповерхностном горизонте почв – в интервале глубин 0-10 (0-20) см. С глубиной содержание ХОП резко уменьшается. В большинстве

очагов загрязнения проявлен скачкообразный переход от максимальных концентраций ХОП и их трансформантов в поверхностном слое почв к его пониженному содержанию в нижележащих горизонтах. Этот переход с амплитудой содержания в 10-100 раз указывает на отчетливо выраженную локализацию (закрепление) поступивших ХОП в поверхностном слое почвы, а также на их миграционную инертность по профилю почв. Установлено, что глубина проникновения ХОП в эпицентрах очагов составляет 2-2,5 м при его содержании на этой глубине сотые-тысячные доли мг/кг.

В образцах травянистой растительности концентрации ХОП и их метаболитов (изомеров) варьируются от тысячных долей мг/кг на слабо загрязненных почвах до  $837,5 \pm 110,3$  мг/кг ДДТ и до  $385,9 \pm 61,2$  мг/кг ГХЦГ в эпицентрах очагов с присутствием устаревших ХОП. Содержание ХОП в растениях, как правило, в 10-100 раз ниже, чем в сопряженных почвах.

В природных водах остаточные концентрации ХОП из-за слабой растворимости препаратов низкие – тысячные, реже сотые доли мг/дм<sup>3</sup>. Уровень их присутствия уменьшается в ряду: поверхностные – грунтовые – подземные воды.

В донных осадках поверхностных водоемов на загрязненных участках содержание ХОП, как правило, выше ПДК для почв – 0,1 мг/кг и достигает первых мг/кг [4]. Выявлено наличие седиментационной аккумуляции ХОП в глинисто-илистых донных осадках, что способствует вторичному загрязнению вод. Характерно, что отношения ХОП и их трансформантов в донных осадках унаследованы от поступающих в водоемы частиц почв, содержащих пестициды.

Гидрофобность ХОП в условиях горной местности способствует плоскостному смыву почв, содержащих пестициды, и их промежуточной аккумуляции в пролювиальных склоновых отложениях и донных осадках водотоков. При этом содержание переотложенных ХОП в поверхностном слое почв многократно (до порядка) увеличивается вниз по склону (в донных осадках – вниз по течению).

Особенности перехода ХОП из почв в растения в условиях РА изучены недостаточно. Предварительно установлена прямая связь между концентрациями ХОП и их трансформантами в загрязненных почвах и в произрастающих на них травянистых растениях, что указывает на высокий уровень перехода пестицидов в растения. Пространственное совпадение контуров загрязнения ХОП почвенного и растительного покрова проявлено на всех изученных очагах.

Содержание ХОП в злаках, овощах и фруктах, выращенных на загрязненных ими участках, в основном не превышает действующих санитарно-гигиенических нормативов, как и их содержание в изученных продуктах питания животного происхождения (молоко, рыба).

Наибольшие установленные концентрации ХОП в кормовых растениях в очагах загрязнения достигают первых сотен мг/кг, в овощах – 0,4 мг/кг (1,9 МДУ), фруктах – 1,7 мг/кг (17 МДУ), молоке – 0,3 мг/л (6 МДУ), рыбе (налим) – 2 мг/кг (5,3 МДУ). Эти данные говорят о необходимости изучения на «проблемных» территориях РА уровней присутствия ХОП в трофических цепях животных и человека.

### Выводы

В результате исследования сделаны следующие выводы:

- уровни содержания и особенности распределения ХОП в объектах окружающей среды РА определяются в основном условиями их хранения (применения) и, частично, природными условиями региона (климат, типы почв и др.), а также характером перераспределения остаточных концентраций пестицидов;

- основными объектами локализации ХОП являются очаги загрязнения почвенного покрова, сформированные вследствие ветрового переноса частиц, паров и аэрозолей пестицидов из мест их стационарного и полевого хранения;

- среди морфологических типов очагов загрязнения почв ХОП преобладают локальные очаги (площадь 0,04-3,6 га) эллипсовидной формы, концентрически сформированные вокруг объектов бывшего хранения пестицидов;

- максимальные остаточные концентрации ХОП проявлены в гумусовом горизонте почв (интервал глубин 0-10 см) в местах их хранения, а минимальные концентрации – на участках их применения;

- максимальное содержание ХОП на глубине и наибольшая глубина их проникновения в профиле почв наблюдаются в эпицентрах очагов загрязнения;

- между концентрациями ХОП и физико-химическими свойствами почв (содержание гумуса и физической глины, емкость поглощения) существуют тесные прямые связи;

- деструкция ХОП происходит главным образом в почвах, а сопряженные с ними среды являются преимущественно трансляторами сложившихся в почвах отношений исходных пестицидов и их трансформантов;

- полураспад исходных концентраций ДДТ в почвах изученных очагов загрязнения

произойдет в среднем за 50-70 лет, а полный распад – за 330-450 лет. Повышенная стабильность пестицида на территории республики проявлена в засушливых условиях межгорных котловин;

– процессы трансформации остатков ХОП в почвах протекают медленно, а их латеральная и вертикальная (промывная) миграция, как правило, незначительна. Транслокация пестицидов наиболее активно протекает в системе почва – растение, в меньшей степени – в системе почва – вода – донные осадки;

– 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;

#### Библиографический список

1. Лунев М.И. Пестициды и охрана агрофитоценозов. – М.: Колос, 1992. – 269 с.

2. Куликова-Хлебникова Е.Н., Робертус Ю.В. Связь параметров очагов загрязнения пестицидами почв Горного Алтая с условиями их хранения и применения // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 5. – С. 15-18.

3. Робертус Ю.В., Ушакова В.Г., Куликова-Хлебникова Е.Н. Особенности поведения хлорорганических пестицидов в объектах окружающей среды Горного Алтая // Вест. Моск. гос. обл. ун-та. – Вып. Химия и химическая экология. – 2006. – № 3. – С. 147-152.

4. Мельников Н.Н., Новожилов К.В., Белан С.Р., Пылова Т.Н. Справочник по пестицидам. – М.: Химия, 1985. – 352 с.



УДК 581.17:612.014.401:581.143.27

Л.В. Фомин

## РЕГУЛЯЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РАСТЕНИЙ

**Ключевые слова:** лист, паренхима, клетки, клеточная оболочка, форма, полярность, сократимость, водный режим, регуляция, факторы.

### Введение

Растение на 70-80% и более состоит из воды. Вода является основой всех физико-химических реакций в растительном организме. Поставляет кислород, водород, с водой поступают макро- и микроэлементы. В растении вода находится в структурированном, упорядоченном состоянии, являясь составной частью тела растения. Следует отметить и информационную роль воды. Структура, состояние воды постоянно преобразуются в соответствии с условиями внешней среды, и в структуре кластеров накапливается, сохраняется и передается информация. Растение отзывчиво на эту информацию. Исследования профессора Б.И. Госькова с сотрудниками (г. Барнаул) показали, что воздействие на воду визуальное, словом, музыкой и т.д. в позитивном и негативном значении отражается на количестве проростков семян пшеницы и интенсивности их роста.

Значимость воды для растения (да и всего живого) исключительно велика, поэтому изучению водного режима растений уделяется большое внимание. Несмотря на это ряд вопросов не имеют окончательного ответа: как происходит регуляция водного

режима растений, какие «механизмы» ее обеспечивают, какие силы способствуют одностороннему движению воды по клеткам и растению.

Долгое время существовало представление, что основой движения воды по клеткам является осморегуляция, а на клетку смотрели как на осмотическую ячейку, чем больше в ней концентрация осмотически действующих веществ, тем интенсивнее идет поступление воды. При этом движение воды в растительную клетку осуществляется градиентом парциального химического потенциала (энергетической активности) молекул воды и идет самопроизвольно по градиенту [1, 2]. Но все живое основывается на активизации взаимоотношений с окружающей средой. В публикациях последних десятилетий регуляторные факторы водного режима приобретают значение активного действия. Но это может иметь место только в случае полярности паренхимной клетки. Однако конкретных, экспериментальных, данных по полярности клетки нет, хотя вся жизнедеятельность растения, ее анатомо-морфологическая и физиологическая полярность, логически ведет к полярности паренхимных клеток и является ее проявлением. Неизвестно и конечное звено полярной пульсации клеток, какая сила проталкивает воду через паренхимные клетки.

Активное поступление воды в клетку связано с сосущей силой (силой всасывания,