

А.А. НУРЖАНОВА¹, С.С. АЙДОСОВА²

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ И КАЧЕСТВЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИЗОМЕРОВ ГХЦГ И МЕТАБОЛИТОВ ДДТ В ТКАНЯХ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ

(¹Национальный центр биотехнологии РК,

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби)

Изучено остаточное количество хлорорганических пестицидов в тканях 13 видов растений. Установлено, что процесс миграции пестицидов из почвы в ткани растений находится в прямой зависимости от их исходной концентрации и биомассы растений. Гистологическим методом определено, что в зависимости от типа листа пестициды аккумулируются в палисадном мезофилле или в мезофильных клетках вокруг проводящих пучков.

В Казахстане с 1991 г. в течение 3–5 лет были разрушены многие складские помещения, где ранее хранились химические средства защиты растений: хлор-, ртуть- и фосфорогранические, мышьяксодержащие, симм-триазиновые и др. Не пригодные для применения устаревшие пестициды и их тары были выброшены либо оставлены на территориях складов, которые превратились в «горячие точки», представляют экологическую опасность для близлежащих населенных пунктов.

Установлено, что почва этих территорий загрязнена хлорорганическими пестицидами [1]. На изучаемой территории после разрушения складов, где хранились упомянутые пестициды, в очаге загрязнения в результате вторичных сукцессий сформировалась растительность, адаптированная к сложившимся условиям. В результате изучения на территориях, где хранились устаревшие пестициды, по морфологическим признакам, скорости роста и способности проходить полный жизненный цикл из 125 видов растений, произрастающих в Алматинской области, было выделено 17 толерантных форм, а в Акмолинской области из 82 видов растений – 5 форм [2].

Согласно литературным данным дикорастущие популяции – аккумуляторы загрязнителей среды. Например, *Ambrosia artemisiifolia* является гипераккумулятором Zn, Cd, Hg [3]. *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus tricola cult.* обладают способностью аккумулировать в своих органах тяжелые металлы Zn, Cd, Hg, ¹³⁷Cs [3, 4]. Установлено, что *Kochia* sp. служит аккумулятором тяжелых металлов и пестицидов [5].

Для разработки технологии фиторемедиации почв, загрязненных хлорорганическими пестицидами, представляет интерес изучение способностей некоторых видов растений из дикорастущих популяций к фитоэкстракции хлорорганических пестицидов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Разрушенные складские помещения «АгроХимсервиса» расположены вблизи крупнейшего мегаполиса Казахстана – г. Алматы.

Первая точка находилась на расстоянии 15 км от Алматы. Очаг загрязнения представляет собой разрушенный фундамент бывшего складского помещения площадью 80 м².

Вторая точка расположена в 50 км от Алматы. Очаг загрязнения – разрушенный фундамент бывшего складского помещения площадью 60 м².

Третья точка – специально выделенный участок, где выброшены пестициды и специальные контейнеры, находится в 36 км от Алматы. Это бетонированная площадка общей площадью 100 м².

Экспериментальные участки загрязнены метаболитами ДДТ: 4,4-ДДЭ (дихлордифенилдихлорэтилен); 2,4-ДДД (дихлордифенилдихлорэтан);

4,4 ДДД (дихлордифенилдихлорэтан); 4,4 ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан) и изомерами ГХЦГ: α -ГХЦГ; β -ГХЦГ; γ -ГХЦГ. Концентрации хлорорганических пестицидов в почве превышают ПДК в десятки-сотни раз [1].

Объектом исследования послужили толерантные к хлорорганическим пестицидам виды растений, отобранные с территории бывших разрушенных складских помещений «АгроХимсервиса» (*Xanthium strumarium*, *Artemisia annua*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Kochia scoparia*, *Kochia sieversiana*, *Amaranthus tricola cult*, *Solanum dulcamara*, *Medicago sativa cult Красноводопадская*, *Erigeron canadensis*, *Barbareae vulgaris*, *Artemisia absinthium*, *Aelgilops cylindrical*, *Rumex confertus*).

Пробы почвы и растений отбирали в соответствии с нормативно-технической документацией и ГОСТами Республики Казахстан [6, 7]. Содержание пестицидов в почве и в тканях определяли с помощью стандартных методов ЕРА [8].

Для анатомических исследований вегетативные органы растений фиксировали по общепринятым методикам ботанических исследований [9–11]. Срезы материала выполнены на микротоме с замораживающим устройством ТОС-2. Описание срезов проведено по методике К.Эзау [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что отобранные из дикорастущей популяции растения обладают способностью аккумулировать хлорорганические пестициды, степень аккумулирования которых для разных видов различна и зависит в первую очередь от исходной загрязненности почвы. Чем выше была концентрация хлорорганических пестицидов в почве, тем выше аккумуляционная способность растений. Например, *Artemisia annua* из почвы

первого участка аккумулировала в вегетативных органах пестициды в сумме 2265 мкг/кг, из почвы второй точки – 8058 мкг/кг, а из 3-й точки – 836 мкг/кг. Вид *Xanthium strumarium* из почвы первого участка аккумулировал в вегетативных органах пестициды в сумме 1136 мкг/кг, из почвы второго точки – 4250 мкг/кг, а из третьей точки – 287 мкг/кг.

Среди изученных видов растений у семи однолетних форм (*Xanthium strumarium*, *Artemisia annua*, *Kochia scoparia*, *Kochia sieversiana*, *Amaranthus tricola cult*, *Solanum dulcamara*, *Medicago sativa cult Красноводопадская*) остаточное количество пестицидов в тканях превышало ПДК в 14–80 раз, а у 6 двулетних форм (*Erigeron canadensis*, *Barbareae vulgaris*, *Opordon acanthium*, *Artemisia absinthium*, *Aelgilops cylindrical*, *Rumex confertus*) – в 3–9 раз (рис. 1, а, б).

Среди изученных видов *Xanthium strumarium* и *Artemisia annua* обладали наибольшей способностью к фитоэкстракции пестицидов. *Xanthium strumarium* накапливали тканях хлорорганические пестициды до 4250 мкг/кг, а *Artemisia annua* – до 8058 мкг/кг.

Анализ качественного содержания пестицидов в растениях показал, что одни виды аккумулировали из почвы в основном метаболиты ДДТ, другие – изомеры ГХЦГ, а третий виды – не только метаболиты ДДТ, но и изомеры ГХЦГ. Так, *Kochia scoparia* из почвы аккумулировала в основном метаболиты ДДТ, превышающие ПДК в 3–14 раз, *Artemisia annua* аккумулировала в тканях не только метаболиты ДДТ (больше ПДК в 2–47 раз), но и изомеры ГХЦГ (больше ПДК в 5–12 раз). Среди изученных растений виды *Ambrosia artemisiifolia*, *Xanthium strumarium*, *Artemisia annua*, *Solanum dulcamara*, *Medicago sativa cult*, *Barbarea vulgaris*, обладали способностью аккумулировать метаболиты 2,4-ДДД и α -ГХЦГ, ПДК, которые недопустимы для растений и почвы.

Хлорорганические инсектициды в различных органах растений распределялись неравномерно. Основным местом аккумуляции пестицидов была корневая система растений. Так, *Artemisia annua* аккумулировала из почвы первого участка всего 2265 мкг/кг пестицида, из них в надземной части – 45 мкг/кг, а в корневой системе – 2220 мкг/кг.

Одним из требований, предъявляемых к растениям при разработке технологий для фиторе-

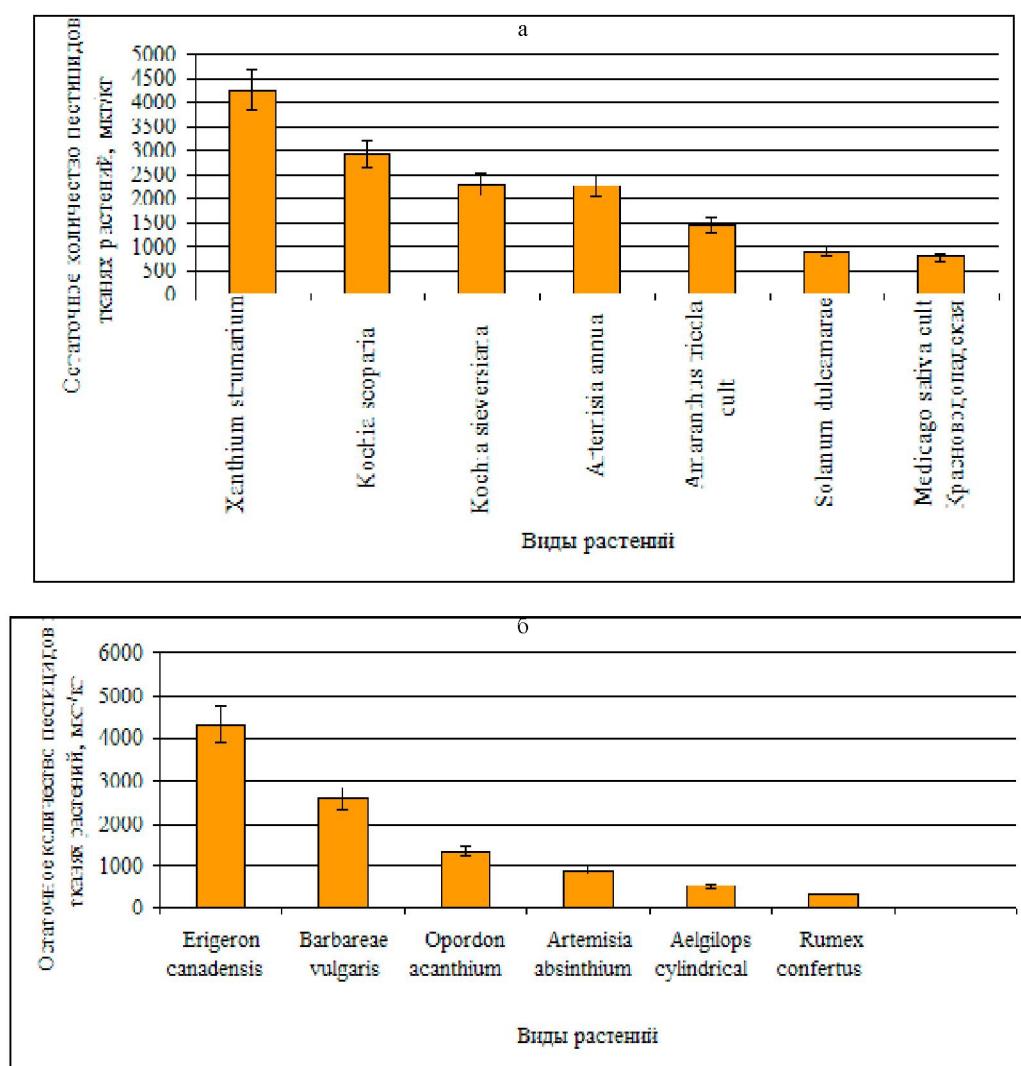


Рис. 1. Остаточное количество пестицидов в тканях однолетних (а) и двулетних (б) видов растений (вторая «горячая точка»)

медиации почв, является способность растений аккумулировать загрязнители среды в корневой системе, а затем транслоцировать их в надземную часть. Среди изученных видов способностью транслоцировать пестициды в надземную часть обладали четыре вида (*Kochia scoparia*, *Artemisia annua*, *Barbarea vulgaris*, *Ambrosia artemisiifolia*). Так, *Kochia scoparia* транслоцировала из корневой системы в надземную часть 116 мкг/кг, *Artemisia annua* – 97 мкг/кг, *Ambrosia artemisiifolia* – 74 мкг/кг, а *Barbarea vulgaris* – 70 мкг/кг.

Среди 13 изученных форм были выявлены только два вида (*Rumex confertus* и *Solanum dulcamara*), которые аккумулировали в своих тканях незначительное количество пестицидов. *Rumex confertus* аккумулировала в основном

метаболиты ДДТ в сумме от 86 до 318 мкг/кг. *Solanum dulcamara* независимо от концентрации пестицидов в почве данный вид аккумулирует в тканях только два метаболита ДДТ (4,4 ДДТ, 4,4 ДДЭ) и β-ГХЦГ в сумме от 78 до 373 мкг/кг. В «горячих точках» эти виды произрастали непосредственно на пестицидах. Поэтому низкая степень аккумуляции пестицидов из почвы, возможно, связана с тем, что данные виды растений обладают деградирующей способностью.

При расчете аккумуляции пестицидов от массы растений установлено, что растения отличались друг от друга не только по степени аккумуляции, но и по аккумуляционной способности пестицидов (табл. 1). Вид *Xanthium strumarium*, произрастающий во второй точке, обладал не только большой массой (0,020 кг) и высокой аккуму-

ляционной способностью (4250,00 мкг/кг), но и высокой степенью аккумуляции пестицидов в тканях (85,00 мкг). Наоборот вид *Artemisia annua*, несмотря на высокую аккумуляционную способность (8058,00 мкг/кг), имел низкую массу 0,002 кг, низкую способность к аккумуляции пестицидов в своих органах (16,12 мкг).

Данные об анатомическом строении и локализации хлорорганических пестицидов в вегетативных органах сорных растений представлены в табл. 2.

На поперечном срезе корня *Xanthium strumarium* клетки экзодермы имели утолщенную темно-коричневую и опробковевшую клеточную стенку. Клетки плотно сомкнуты. Коровая паренхима тонкостенная, вытянутая вдоль поперечного среза. Между коровой паренхимой и флоэмной частью корня встречались склеренхимные тяжи. Флоэмная часть корня состояла из более мелких элементов. Центральный цилиндр корня по диаметру был меньше, чем первичная кора. Проводящая часть состояла из чередующихся групп ксилемы и флоэмы, расположенных на поперечном срезе по кругу. Между группами проводящих элементов проходили сердцевинные лучи, расположена паренхима, которая входила в состав проводящих элементов. Выявленные черные пятна в клетках паренхимы сердцевинных лучей, а также на стенках ксилемных сосудов, возможно, следы хлорорганических пестицидов (рис. 2).

Через поры ксилемных сосудов пестициды транслоцировались в паренхимные клетки ради-

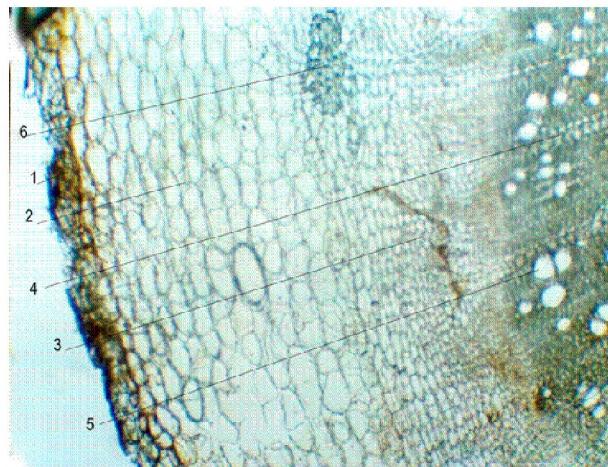


Рис. 2. Анатомическое строение корня *Xanthium strumarium* L.: 1 – экзодерма; 2 – первичная кора; 3 – флоэма; 4 – сердцевинная паренхима; 5 – ксилема; 6 – склеренхимные тяжи

альных лучей. По ним они перемещались в коровую часть стебля. Полученные результаты согласуются с данными Leonard et al. [13], где после обработки стебля гербицидом отмечается существенный восходящий поток, вероятно, по ксилеме, на что указывает последующее накопление гербицидов amitrole и 2,4,5-T в листьях.

Стебель пучкового типа, снаружи покрыт эпидермисом. Наружные стенки эпидермальных клеток кутинизированы. Первичная кора включала нескольких рядов паренхимных клеток. В периферических слоях первичной коры сплошным кольцом расположена колленхима. Проводящие пучки коллатеральные, открытые, крупные чередовались с более мелкими. Флоэмная часть про-

Таблица 1. Аккумуляция пестицидов в тканях растений (вторая точка)

Вид	Сумма пестицидов в тканях растений, мкг/кг	Средняя влажная масса растений, кг	Аккумуляция пестицидов, мкг
<i>Artemisia annua</i>	8058,00	0,002	16,12
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	963,00	0,006	5,77
<i>Xanthium strumarium</i>	4250,00	0,020	85,00
<i>Kochia scoparia</i>	2919,00	0,005	14,60
<i>Kochia sieversiana</i>	2314,00	0,011	25,45
<i>Amaranthus tricola</i> cult	1449,00	0,014	20,29
<i>Medicago sativa</i> cult	791,00	0,011	8,70
<i>Solanum dulcamara</i>	904,00	0,58	176,
<i>Artemisia absinthium</i>	829,00	0,010	8,29
<i>Barbarea vulgaris</i>	2596,00	0,004	10,38
<i>Rumex confertus</i>	318,00	0,021	6,67
<i>Erigeron canadensis</i>	4331,00	0,004	17,32
<i>Aegilops cylindrica</i>	518,00	0,008	4,14

Таблица 2. Локализация хлорорганических пестицидов в вегетативных органах растений

Растение	Тип мезофилла	Локализация пестицидов			Особенности растений
		Корень	Стебель	Листья	
<i>Xanthium strumarium L.</i>	Дорсивентральный	В паренхимных клетках и в стенках ксилемы	В стенках сосудов ксилемы	В палисадном мезофилле	Паренхимные клетки содержат друзы.
<i>Ambrosia artemisiifolia L.</i>	Изолатеральный	В паренхимных клетках	То же	То же	
<i>Erigeron canadensis L.</i>	Дорсивентральный	В паренхимных клетках и в стенах ксилемы	«	«	То же
<i>Artemisia annua L.</i>	Гомогенный	То же	«	В палисадном мезофилле около проводящих пучков	
<i>Kochia scoparia L.</i>	Гомогенный	«	«	То же	Мезофилл содержит включения оксалата кальция
<i>Barbarea vulgaris L.</i>	Дорсивентральный	«	«	В палисадном мезофилле	

водящего пучка имела склеренхимную обкладку. Паренхима сердцевины состояла из тонкостенных клеток, укрупняющихся по направлению к центральной полости. В стебле растений пестициды были локализованы в стенках ксилемных сосудов в виде темных пятен (рис. 3).

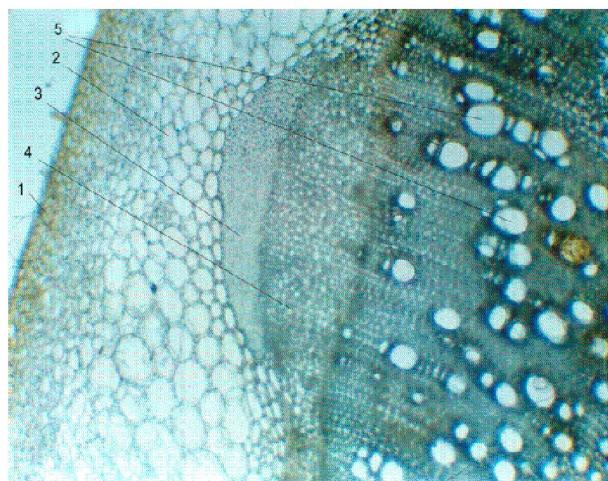


Рис. 3. Анатомическое строение стебля *Xanthium strumarium L.*: 1 – эпидерма; 2 – первичная кора; 3 – склеренхимная обкладка проводящего пучка; 4 – флоэма; 5 – ксилема

По сосудам ксилемы пестициды далее транспортировались в листовые пластинки, где они локализовались в палисадном мезофилле. Лист *Xanthium strumarium* дорсивентральный. Лист

состоял из эпидермиса, мезофилла и проводящих пучков. Стенки эпидермальных клеток были извилистые. На верхнем и нижнем эпидермисе имелись 2–3-клеточные простые волоски, а на нижнем наряду с простыми встречались и железистые. Палисадный мезофилл трехрядный, губчатый был представлен 4–6 рядами клеток. В клетках мезофилла встречались кристаллоносные вещества в виде друз. Проводящие пучки на поперечном срезе располагались в виде дуги. Проводящие пучки были коллатерального типа. Центральный проводящий пучок крупный, окружен склеренхимными клетками (рис. 4).

Аналогичная картина была получена при изучении анатомического строения вегетативных органов двулетнего вида *Barbarea vulgaris*. Мезофилл был гетерогенный. Палисадный мезофилл представлен 2–3 рядами клеток. Клетки губчатого мезофилла овальной формы содержали кристаллоносы. Пестициды также локализовались в палисадном мезофилле в виде темных пятен (рис. 5).

В структуре листовой пластинки *Kochia scoparia* отмечены включения (черные пятна) в клетках мезофилла вокруг проводящего пучка. Листовая пластинка *Kochia scoparia* снаружи была покрыта эпидермисом.

Клетки эпидермиса были плотно сомкнуты. Клетки верхнего и нижнего эпидермиса покры-

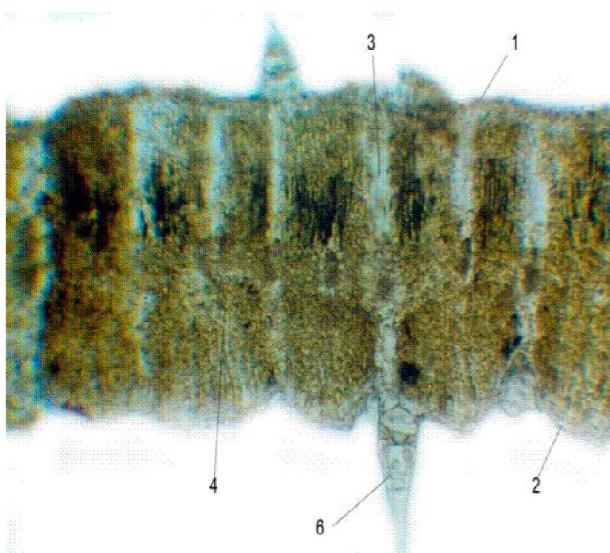


Рис. 4. Анатомическое строение листа *Xanthium strumarium* L.: 1 – верхний эпидермис; 2 – нижний эпидермис; 3 – столбчатый мезофилл; 4 – губчатый мезофилл; 5 – проводящие пучки; 6 – трихомы

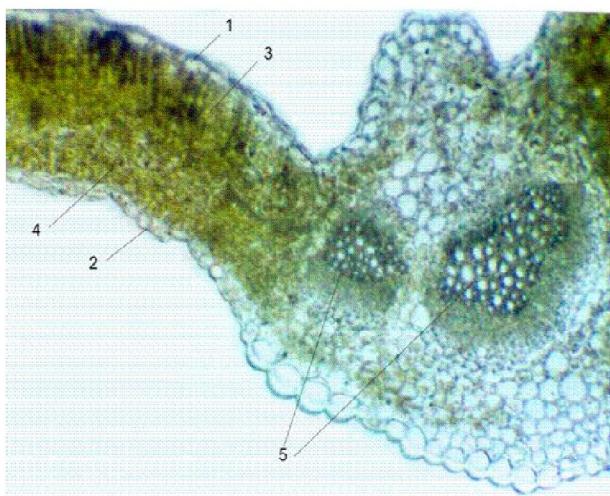


Рис.5. Анатомическое строение листовой пластинки *Barbarea vulgaris*: 1 – верхний эпидермис; 2 – нижний эпидермис; 3 – столбчатый мезофилл; 4 – губчатый мезофилл; 5 – проводящие пучки

ты мелкобугорчатой кутикулой. Редкое простое опушение листа сверху и снизу представлено узкополосными одноклеточными волосками. Паренхима листовой пластинки представлена складчатым мезофиллом. Мезофилл был гомогенный, содержал кристаллы в виде оксалата кальция, которые имеют весьма важное диагностическое значение. Это крупные друзы.

Таким образом, результаты анализа указывают на то, что сорные растения, произрастающие на загрязненной хлорорганическими пестицидами почве, обладали способностью к фитоэкстракции. Установлено, что процесс миграции пестицидов из почвы в ткани растений находится в прямой зависимости от их исходной концентрации и биомассы растений. Чем больше концентрация пестицидов в почве и масса растений, тем выше процент их накопления в тканях растений. Степень аккумуляции для разных видов растений различна. Данный показатель является видовой особенностью растений. Одни виды обладают большей способностью к детоксикации пестицидов в почве за счет аккумуляционной способности, другие – к транслокации пестицидов из корневой системы в надземную часть, третьи – к деградации.

Накопление пестицидов в листовых пластинках свидетельствует о их восходящем потоке. Через сосуды ксилемы они переходили в паренхимные клетки радиальных лучей. Далее по радиальным лучам они перемещались в коровую часть корня и транслоцировали в клетки паренхимы стебля растений. В стебле по ксилеме пестициды переходили в листовые пластинки, где в зависимости от типа мезофилла локализовались в нем или в клетках, прилегающих к проводящим пучкам. Если мезофилл был изолатерального или дорсивентрального типа, то пестициды накапливались в основном в палисадном мезофилле, а в случае гомогенного мезофилла – в мезофильных клетках вокруг проводящих пучков. Для изученных видов растений были характерны три типа мезофилла: изолатеральный (*Ambrosia artemisiifolia*), дорсивентральный (*Xanthium strumarium*, *Erigeron Canadensis*, *Barbarea vulgaris*) и гомогенный (*Artemisia annua*, *Kochia scoparia*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нуржанова А.А., Седловский А.И., Калмыков Е.Л. Хроматографический анализ содержания хлорорганических пестицидов в почвах некоторых объектов Алматинской и Акмолинской областей // Биотехнология. Теория и практика. 2004. №. 9. С. 99 -105 .

2. Нуржанова А.А. Поиск генотипов растений, способных к фиторемедиации почв, загрязненных пестицидами // Международная научно-практическая конференция «Перспективы устойчивости развития экосистем Прикаспийского региона». 2004. 29-30 июня. Алматы, 2004. С.119-121.

3. Barak Ph. Metal-scavenging plants to cleanse the soil // Agricultural research USDA-ARS. November. 1995. P. 4-9.

4. Богуслаев К.К., Арыстанова Ш., Бигалиев А.Б. Фиторемедиация тяжелых металлов *Amaranthus sp* на нефте-

загрязненных территориях // Международная научно-практическая конференция. Перспективы устойчивого развития экосистем Прикаспийского региона. 29-30 июня. Алматы, 2004. С. 51-53.

5. Anderson T.A., Guthrie E.A., Walton B.T. Bioremediation in the rhizosphere // Environmental Science and Technology. 1993. V. 27. P. 2630-2636.

6. Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов. Алматы; Акмола, 1997.

7. Методические указания по отбору проб сельскохозяйственной продукции и почвы для определения микроколичеств пестицидов и изучения их влияния на биохимические показатели урожая при проведении регистрационных испытаний препаратов. 1997. Алматы; Акмола: Мин-во с/х РК, 22 С.

8. SW-864. Метод EPA 3660.

9. Пермяков А.И. Микротехника. М.:МГУ, 1988. 58 с.

10. Барыкина Р.П. и другие. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.:МГУ, 2004. 312 с.

11. Продина М. Ботаническая микротехника. М., 1960. 208 с.

12. Эзая К. Анатомия семенных растений. М.: Мир, 1980. Т. 1. 2.558 с.

13. Leonard O.A., Bayer D.E., Glenn R.K. Translocation of herbicides and assimilates in red maple and white ash // Botany Gazette. 1966. V. 127, N 4. P. 193-201.

Тұжырым

Өсімдіктердің 13 түрінің үлпапарындағы хлорорганикалық пестицидтердің қалдық мөлшері зерттелді. Пестицидтердің топырақтан өсімдік үлпапарына миграция үрдісі өсімдік биомассасы мен олардың бастанқы концентрациясына тікелей байланысты екендігі анықталды. Жапырақ типіне байланысты пестицидтердің палисадтық мезофильде немесе өткізгіш шоқтардың айналасындағы мезофильді клеткаларда аккумуляцияланатындығы гистологиялық тәсілдермен көрсетілді.

Summary

It is investigated the residual amount of chlororganic pesticides in tissue of 13 species plants. It is established, that process of migration pesticides from soils to tissue of plants is in direct dependence from their initial concentration and a biomass. It is shown that pesticides are accumulated in palisade mesophyll or in mesophyl cells around of conducting bundle depending from type of a leave by histologic method.