

## Полициклические ароматические углеводороды в системе почва – растение

© 2008. Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратёнок, Д.Н. Габов  
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме проведено изучение качественного и количественного состава полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в системе почва – растение. Установлено, что биоаккумуляция ПАУ связана с поглощением их из почвы, а также с внутриклеточным синтезом *Tradescantia (clon 02)*. Выявлена дозовая зависимость влияния бенз[а]пирена, и накопления ПАУ в почвах и растениях.

The study of qualitative and quantitative structure of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in system «soil – plant» was carried out by the method of highly effective liquid chromatography in gradient duty. It is found out that PAH accumulation is connected with PAH intake from soil and with endocellular synthesis by *Tradescantia (clon 02)*. The dose dependence of benzopiren influence and of PAH accumulation in soils and plants is revealed.

### Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представляют собой высокомолекулярные органические вещества, основным элементом структуры которых является бензольное кольцо. Они внесены в списки приоритетных загрязнителей как Европейского сообщества, так и Агентства по охране окружающей среды США и характеризуются канцерогенным, мутагенным и токсичным действием на живые организмы.

Актуальность исследований ПАУ в системе почва – растение обусловлена повышенной опасностью и масштабностью загрязнения окружающей среды этими соединениями. Почвенный покров является главным депонирующим ПАУ компонентом ландшафта.

Интенсивность накопления, возможность консервации и последующей мобилизации данной группы стойких органических загрязнителей в окружающую среду зависит от свойств почв. В рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха [1] к настоящему времени выполнены разнообразные исследования по переносу различных поллютантов и реакции экосистем на их поступление. Однако следует отметить недостаточность подобных работ, посвящённых поведению ПАУ в системе почва – растения, что обуславливает, на наш взгляд, необходимость проведения исследований по вовлечению полиаренов в биологический круговорот.

Реакция живого организма, в том числе, растений, позволяет оценить антропогенное воздействие на среду обитания. Система по-

чва – растение очень информативна. Поведение поллютантов в системе почва – растение складывается из ряда процессов: поглощение корнями растений, ремиссия, миграция и деградация в почве. Так, по концептуальной модели [2] поглощение органических поллютантов корнями растений из почвы представляется как функция растворимости веществ в воде, содержания органического вещества и вида растения. Детальный анализ процесса накопления стойких органических соединений растениями привел к следующим гипотезам: коэффициенты накопления (отношение содержания вещества в корнях к его содержанию в почве) является нелинейной функцией содержания их в почвах, что объясняется в случае невысоких концентраций сорбцией их почвой, при высокой – угнетающим действием на растения [3]. Расчёты показывают, что в целом переход стойких органических соединений из почвы в растения выше (35 ... 70%), чем в воду (12 ... 18%) и атмосферный воздух (18%).

Растения представляют собой наиболее уязвимый компонент биоты, так как являются первичными звеньями природных трофических цепей, выполняют основную роль в поглощении разнообразных поллютантов и постоянно подвергаются действию как глобального, так и локального загрязнения. Высокая биоаккумуляция поллютантов в растениях определяет их биоиндикационную функцию. Получение сведений о загрязнении почвы ПАУ, в том числе и бенз[а]пирена (БП), приводит к необходимости оценить вероятность поглощения этих канцерогенов

тканями растений, определить возможность перемещения из корней в надземные органы и исследовать реакцию растительного организма на их воздействие. Всё это позволит выявить роль растений в циркуляции ПАУ в биосфере и оценить перспективы использования растений как индикаторов загрязнения среды полиаренами [4].

В работе [5] были определены концентрации десяти ПАУ, в том числе и БП, в листьях, семенах, коре сахарного клёна (*Acer saccharum*), хвое и коре белой сосны (*Pinus strobus*), растущих на пригородных участках и отобранных в разные периоды года. Кора растений, отличающаяся высоким содержанием липидов, накапливала на единицу площади (1 см<sup>2</sup>) поверхности в 7 ... 135 раз больше ПАУ, чем листья, семена и хвоя, характеризующиеся низким содержанием липидов.

Цель нашей работы – выявить закономерности биоаккумуляции ПАУ в системе почва – растения в условиях модельного эксперимента при загрязнении почв бенз[а]-пиреном.

### Методика исследований

Для количественного описания биоаккумуляции ПАУ оценивали массовую долю полиаренов в почвах и интенсивность их накопления растениями за вегетационный период в лабораторном эксперименте. В качестве растительного объекта исследований использовали клон *Tradescantia (clon 02)* из семейства *Commelinaceae R.Br.*, который является гибридом между *T. occidentales* Pritton ex. Rydb. и *T. ohioensis* Raf. и наиболее часто применяется в целях оценки мутагенных воздействий, химических и физических факторов.

В опытах использовали пахотный слой (Апах – 0 ... 20 см) окультуренной подзолистой почвы, сформированной на пылеватом покровном суглинке. Агрохимическая характеристика почвы: гумус – 2,4 ... 2,8%, подвижный фосфор – 43 ... 103 мг/100 г, обменный калий – 34 ... 43 мг/100 г, рН<sub>KCl</sub> – 6,5 ... 6,6, гидролитическая кислотность – 0,8 ... 1,0 ммоль/100 г, сумма поглощённых оснований – 15,0 ... 15,2 ммоль/100 г, степень насыщенности почвы основаниями – 94 ... 95%. Почву набивали в стеклянные сосуды, масса почвы в каждом сосуде составляла 400 г. В почву вносили БП в количествах, соответствующих содержанию 10, 20, 30, 40 нг/г, контрольный вариант без внесения БП. Повторность в опытах – 6-крат-

ная, полив производили дистиллированной водой. Влажность почвы поддерживали на уровне 60% от полной влагоёмкости почвы. ПАУ в почвах определяли методом ВЭЖХ с использованием анализатора жидкости «Флюорат 022» [6].

Растения выращивали в течение месяца, затем срезали. Проводили учёт массы в целом растения, а также отдельно корней и листьев. Содержание ПАУ в растениях определяли в соответствии с «Методикой выделения углеводородных компонентов нефти из растений» [7]. В качестве флуориметрического детектора использовали спектрофлуориметр «Панорама». Погрешность измерения ПАУ в почвах составляет 35% для диапазона измерений от 5 до 40 нг/г и 25% – для диапазона от 40 до 2000 нг/г.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью критерия Стьюдента, P=0,95.

### Результаты и их обсуждение

В результате исследования исходной пахотной подзолистой почвы определены 11 структур ПАУ (табл. 1). Столь широкий спектр идентифицированных полиаренов позволил выявить преобладающие и наиболее характерные углеводороды для пахотных окультуренных подзолистых почв. К таковым относятся хризен, бенз(b)флуорантен, пирен, флуорантен, фенантрен, причем следует отметить, что 3- и 4-ядерные структуры составляют в почве 70% от общей суммы ПАУ. В почве не обнаружено нафталина и флуорена.

В процессе роста и развития растений в почве варианта без внесения БП идет практически снижение содержания всех углеводородов и, в основном лёгких полиаренов. Убыль лёгких ПАУ в почве контрольного варианта к концу эксперимента составила 98% от общих запасов ПАУ. Внесение бенз[а]пирена в разных дозах от 10 до 40 нг/г привело к увеличению суммы ПАУ в почвах по всем вариантам опыта к концу вегетации *Tradescantia (clon 02)* и особенно при применении сравнительно высоких доз БП (30 ... 40 нг/г). Это, на наш взгляд, связано с тем, что ПАУ, обладая высоким сродством к гуминовым и фульвокислотам, вследствие донорно-акцепторных взаимодействий [8], могут служить, с одной стороны, структурными единицами при формировании гумусовых веществ (ГВ), с другой, при постоянном

Таблица 1

Массовая доля полиаренов в почве в конце эксперимента, нг/г

№	ПАУ	Исходная почва	Варианты опыта														
			0			10			20			30			40		
			$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$			
1	Нафталин	0		0		0		0		0		0		0		0	
2	Флуорен	0		0		0		0		0		0		0		0	
3	Фенантрен	1,9		2	0,2	1,9	0,3	2,6	0,3	3,7*	0,5	3,7*	0,5	2,2	0,2	2,2	0,2
4	Антрацен	0		0		0		0,2*	0,03	0,2*	0,03	0,2*	0,04	0		0	
5	Флуорантен	2,2		2,1	0,1	1,8	0,2	2,2	0,5	2,1	0,3	2,1	0,3	4,9*	0,2	4,9*	0,2
6	Пирен	2,6		2,5	0,1	2,2	0,4	3,8*	0,5	3,3*	0,3	3,3*	0,3	3,1*	0,2	3,1*	0,2
7	Бенз[a]антрацен	0		0,4	0,04	0,3	0,1	0*		0		0		5,1*	0,3	5,1*	0,3
8	Хризен	10,2		5,3	0,2	15,8	0,4	18,5*	0,4	8,7*	1	8,7*	1	6	0,3	6	0,3
9	Бенз[k]флуорантен	0,4		0,4	0,04	0,4	0,1	0,4	0,1	0,9*	0,1	0,9*	0,1	3,3*	0,2	3,3*	0,2
10	Бенз[a]пирен	0,1		0,5	0,04	0,9	0,1	1,2*	0,1	2,7*	0,3	2,7*	0,3	6,3*	0,4	6,3*	0,4
11	Бенз[ghi]перилен	0		2,6	0,2	3	0,2	3,7*	0,4	6,1*	0,2	6,1*	0,2	3,9*	0,1	3,9*	0,1
12	Бенз[b]флуорантен	5,1		2,6	0,1	2,3	0,2	14,8	0,4	13,8*	0,3	13,8*	0,3	24,3*	0,5	24,3*	0,5
13	Дибенз[ah]антрацен	1,7		1,1	0,1	0		0*		0		0		1,6*	0,06	1,6*	0,06
14	Инденопирен	1,9		0		0		0		0		0		0		0	
	ΣПАУ	24,2		19,5	0,6	28,6	1,1	47,4*	1,4	41,5*	1,6	41,5*	1,6	60,8*	1,2	60,8*	1,2
	Бенз[a]пирен, % отΣПАУ	0,4		2,5		3,1		2,5		6,5		6,5		10,4		10,4	
	Σ3и4-ядерных ПАУ (№1-8), нг/сосуд	16,9		12,3		22		27,3		18		18		21,3		21,3	
	%3и4-ядерных ПАУ отΣПАУ	70		63		77		58		43		43		35		35	

Примечание: \* - отклонения от контроля достоверны; ... - отклонения от между соседними вариантами достоверны.



разрушении ГВ, образовывать структуры полициклических ароматических углеводов. Образование молекул ПАУ в почве также может происходить за счёт трансформации циклических изопреноидов, компонентов органического вещества почв, представляющих собой, как правило, форму молекул ПАУ с ангулярным аннелированием бензольных колец (фенантронов, хризенов и др.). Частичная или полная потеря боковых групп и дегидрирование таких соединений может привести к образованию полиаренов. Более того, в процессе роста и развития растений происходит частичное отмирание корней с образованием различных органических соединений, в том числе пентациклических терпанов, карбоциклических ароматических структур, а также структур с диеновыми или полиеновыми связями в алифатических углеводородных цепях, липидов, которые могут служить источником полиаренов.

При загрязнении почвы БП в дозе 10 нг/г трансформационные процессы проходят, главным образом, в составе 3- и 4-ядерных структур, и в конце эксперимента массовая доля их составила 73% от общей суммы ПАУ. Внесение БП в дозах от 20 до 40 нг/г почвы усиливает процесс педогенного образования тяжёлых ПАУ, что приводит к увеличению 5- и 6-ядерных полиаренов в почве от 4% до 65% и уменьшению лёгких углеводов. Подобные изменения состава ПАУ в почве, на наш взгляд, связаны с высокой реакционной способностью БП, который в оптимальных условиях увлажнения, аэрации, освещённости повышает процессы минерализации почвенного органического вещества и приводит к образованию «экстра»-ПАУ в результате эндогенных процессов в почве. Лёгкие ПАУ образуются при внесении низких доз БП в почву, тяжёлые – при высоком содержании БП. Величина «экстра»-ПАУ – дополнительное количество мобилизуемых полициклических ароматических соединений из почвы под действием внесённого БП зависит от его дозы и составляет 39,5 ... 54,6 нг/г соответственно при загрязнении почвы в количествах от 10 до 40 нг/г. Процессы образования «экстра»-ПАУ являются составной частью общего цикла полиаренов в системе почва – растение и выступают в качестве одного из основных регуляторов их внутрпочвенных превращений. Оценка количества «экстра»-ПАУ имеет важное практическое значение

при определении экологической безопасности и корректировке возможного загрязнения почв и растений полиаренами.

Интенсивность биоаккумуляции полиаренов в системе почва – растение в значительной степени определялась концентрацией БП в почве. Результаты расчёта выноса полиаренов показали линейную дозовую зависимость их потребления как целым растением, так и его органами – листьями и корнями в пределах загрязнения почвы от 0 до 10 нг/г БП (табл. 2 – 4, рис.1). При дозах 10 ... 20 нг/г почвы массовая доля ПАУ в целом растении к концу вегетации увеличилась в 1,5 ... 2,6 раза соответственно, в листьях – 1,2 ... 2,2 раза, в корнях – 1,9 ... 4,0 раза. Дальнейшее увеличение доз внесения БП в почву 30 ... 40 нг/г приводило к резкому снижению полиаренов в целом растении, листьях, корнях, по сравнению с дозами 10 ... 20 нг/г, однако отмечен незначительный рост в потреблении ПАУ растениями по сравнению с контролем.

Подобные закономерности в накоплении ПАУ растениями при избыточных концентрациях в почве объясняются, по-видимому, наличием у растительного организма (*Tradescantia (clon 02)*) защитных механизмов, ограничивающих их потребление. С биологической точки зрения биоаккумуляция ПАУ растениями и особенности их распределения по органам растений, вероятно, являются эволюционно закреплённым свойством растительного организма сохранять в тканях метаболически приемлемые (комфортные) концентрации химических элементов [9].

Зависимость массовой доли полиаренов в растениях от концентрации их в почвах целесообразно представить в виде кривой накопления ПАУ растениями, которую можно разделить на три интервала (рис.1). Первый – интервал малых концентраций (дозы 0 ... 20 нг/г БП) – массовая доля ПАУ в растениях увеличивается прямо пропорционально их концентрации в почвах. Во втором интервале – области средних концентраций (дозы 20 ... 30 нг/г БП) – вынос ПАУ растениями носит обратно пропорциональный характер – идёт спад их накопления, и в третьем диапазоне – области высоких концентраций (дозы 30 ... 40 нг/г БП) – накопление ПАУ в растениях выходит на плато и практически остаётся постоянным. В соответствии с ходом кривой выноса ПАУ растениями, первый интервал характеризует

Таблица 2

Массовая доля полиаренов в целом растении

№	ПАУ	Дозы внесения БП в почву, мг/г														
		0			10			20			30			40		
		$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	$\bar{X}$	$\bar{Sx}$	
1	Нафталин	31	10,2	36,5	8,4	5,8	4,9	23,1	7,1	0*	0					
2	Флуорен	8,9	1,9	10,2	2,5	4	4	13,6	5,1	0*	0					
3	Фенантрен	145,4	20,5	160,8	40,5	231,1*	30,3	182,9	34,8	144,9	8,8					
4	Антрацен	6	1,3	6,3	1,5	5,8	0,9	7,6	1,4	2	0,2					
5	Флуорантен	39,6	4,3	37,4	10,8	52,6	5,4	51,3	6,4	21,2*	4,6					
6	Пирен	53,3	11,2	42,7	9,5	67,9	11,5	56,8	7,4	40	7,5					
7	Бенз[а]антрацен	7,4	1,9	7,35	2,1	8	0,9	9,55	1,4	13,4	1,7					
8	Хризен	29,4	6,6	22,7	5,4	33,5	8,5	27,5	2,4	26,8	3,9					
9	Бенз[к]флуорантен	2,2	0,4	3,3	1,4	2,2	0,75	8,2*	0,4	9,1*	0,5					
10	Бенз[а] пирен	2,25	0,2	6,25	0,3	8,2*	0,5	11,4*	0,8	17,8*	0,6					
11	Бенз[ghi] перилен	10,3	3,4	10,9	4,1	3,6*	0,75	16	2,4	2,1	2,5					
12	Бенз[b]флуорантен	0		0		55,4	11,3	0		11,4	8,3					
13	Дибенз[ah]антрацен	0		0		0		0		0						
14	Инденопирен	0		0		0		0		0						
	$\Sigma$ ПАУ, мг/г	335,7	51,3	344,4	84,6	478,1	27,9	488,1	63,4	288,7	13,6					
	Бенз[а]пирен, % от $\Sigma$ ПАУ	0,7		1,8		2		2,3		5,3						
	$\Sigma$ 3 и 4-ядерных ПАУ (№1-8), мг/сосуд	321		323,9		402,9		372,4		248,3						
	% 3 и 4-ядерных ПАУ от $\Sigma$ ПАУ	96		94		84		76		86						

Примечание: \* – отклонения от контроля достоверны; ... – отклонения между соседними вариантами достоверны.

ся поглощением, главным образом, лёгких полиаренов, к которым относятся 3- и 4-ядерные структуры. Накопление в растениях ПАУ во втором и третьем диапазонах кривой происходит за счёт как лёгких, так и тяжёлых, с преобладающей долей последних в об-

щем выносе полиаренов. Возможно, спад суммарного содержания полиаренов в растениях обусловлен также включением механизмов репарации, препятствующих поступлению токсикантов в растение. С.В. Дурмишидзе с соавторами [10] объясняет неэффектив-



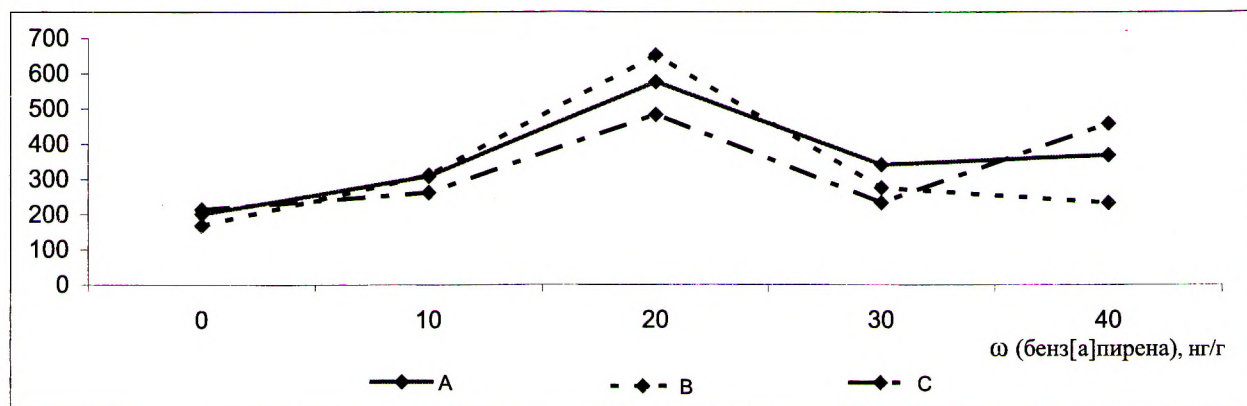


Рис. Вынос ПАУ растениями в зависимости от доз бенз[а]пирена в почве: А (целые растения), В (корни), С (листья).

ность высоких концентраций БП тем, что БП при высоком содержании оседает на поверхности корня и число участков, в которых происходит его поглощение, становится ограниченным. Различия в поглощении растениями низкомолекулярных и высокомолекулярных ПАУ связаны, по-видимому, с их различной окисляемостью. Низкомолекулярные ПАУ обладают сравнительно высокой окисляемостью, высокомолекулярные окисляются слабо или же совсем не окисляются. У высших растений, наряду с поглощением ПАУ из почвы, возможен и внутриклеточный синтез их в самих растениях. Подтверждением тому является наличие флуорена, нафталина, антрацена, бенз[а]-антрацена, бенз[ghi]пирилена в растениях, которые исходно отсутствовали в почве в

начале и конце эксперимента. Дибенз[ah]-антрацен из почвы не поглощается растениями и не синтезируется в растительных клетках.

В органах растений ПАУ распределены неравномерно (табл. 3, 4). Распределение имеет выраженную базипетальную направленность (увеличение содержания полиаренов от корней к листьям). Общее содержание полиаренов в листьях в 1,1 ... 3,1 раза превышает их содержание в корнях. Кратности превышения содержания бенз[а]пирена в листьях растений над их содержанием в корнях варьируют от 1,1 до 1,5 и возрастают с повышением уровня загрязнения почвы БП. Такое высокое потребление и соответствующее распределение полиаренов по органам растений, надо полагать, является

Таблица 3

Массовая доля полиаренов в корнях растений

ПАУ	Дозы внесения БП в почву, нг/г									
	0		10		20		30		40	
	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$
Нафталин	16,1	6,9	25,9	6,8	4,8	8,2	22,3	10	0*	0
Флуорен	7,7	1,7	8,9	2	8	13,8	10,7	4,6	0*	0
Фенантрен	125	17,5	115,3	25,8	177,6	102,5	163,5	30,4	134,8	6,8
Антрацен	4,6	0,9	5,3	1,3	7,2	2,9	6,7	1,5	1,6*	0,4
Флуорантен	28,7	2,7	25,4	8,3	45,7	28,9	38,4	7,2	16,3*	3,6
Пирен	29,2	2,9	34,3	7,3	62,3	49,5	42,8	9,5	23,2	6,6
Бенз[а]антрацен	3,6	0,8	7,3	2,3	8,4*	1,7	7,6	2,3	12,5*	1,1
Хризен	15,8	1,3	15,8	4	36,1	25,5	23,8	3,7	25,3	6,8
Бенз[к]флуорантен	1,6	0,1	4,3	0,7	1,7	1,6	12,9*	0,4	7,3*	0,6
Бенз[а] пирен	2,1	0,1	5,1	0,4	6,8*	1,2	8,94*	0,4	14,2*	0,5
Бенз [ghi] перилен	7,1	2,2	12,3	3,7	13,4	3,1	10,2	2,6	19,3*	2,1
Бенз[b]флуорантен	0		0		62,5*	25,6	0		4,8	3,8
Дибенз[ah]антрацен	0		0		0		0		0	
Инденопирен	0		0		0		0		0	

Примечание: \* – отклонения от контроля достоверны; ... – отклонения между соседними вариантами достоверны

Массовая доля полиаренов в листьях растений

ПАУ	Дозы внесения БП в почву, нг/г									
	0		10		20		30		40	
	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$	$\bar{X}$	$\bar{S}_x$
Нафталин	46	15,3	47,1	11,3	6,8*	4,5	23,9	9,1	0*	0
Флуорен	10,1	3,1	11,6	1,4	0	0	16,6	7,1	0*	0
Фенаптрин	165,8	33,1	206,3	47,4	284,6	65,9	202,3	55,8	153,9	14,1
Антрацен	7,5	2	7,3	1,7	4,4	1,5	8,4	1,9	2,4*	0,06
Флуорантен	50,6	7,1	49,4	13,1	59,5	10,2	64,3	8,5	26,1*	3,9
Пирен	77,3	18,3	51,1	11,3	73,5	13,8	70,9	6,8	56,7	7,4
Бенз[а]антрацен	11,2	2,7	7,4	2,1	7,6	1,4	11,5	1,4	14,3	1,8
Хризен	43,1	11,2	29,7	6,9	30,9	9,3	31,2	2,4	28,2	1,2
Бенз[к]флуорантен	2,8	0,6	2,3	0,5	2,6	0,85	3,5	0,4	10,8*	0,7
Бенз[а]пирен	2,4	0,5	7,4	0,5	9,6*	0,25	13,9*	1,2	21,5*	0,9
Бенз [ghi] перилен	13,4	0,5	19,1	5,8	13,8	1,6	21,9*	2,2	20,9	1,9
Бенз[b]флуорантен	0		0		48,3*	13,3	0		18	14,9
Дибенз[ab]антрацен	0		0		0		0		0	
Инденопирен	0		0		0		0		0	

Примечание: \* – отклонения от контроля достоверны; ... – отклонения между соседними вариантами достоверны

следствием высокой биофильности полиаренов и специфики их функционального предназначения для растений. Вероятно, полиарены являются необходимыми компонентами растений, участвующими в процессах обмена веществ.

### Заключение

Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в градиентном режиме идентифицированы полициклические ароматические углеводороды в системе почва-растение. Установлено, что биоаккумуляция ПАУ в исследуемой системе происходит как за счёт эндогенных, так и экзогенных процессов в почве, а также за счет внутриклеточного синтеза ПАУ *Tradescantia (clon 02)*. Формирование пула легких ПАУ в почве обусловлено аэротехногенным привносом, тяжёлые ПАУ образуются в результате трансформации органического вещества в процессе педогенеза. Выявлена дозовая зависимость влияния БП, внесенного в почву, и накопления ПАУ в растениях. При внесении БП в почву в относительно низких концентрациях деструкции в большей степени подвержены низкомолекулярные ПАУ, при загрязнении почв высокими дозами БП минерализация происходит, главным образом, в структуре высокомолекулярных соединений.

Распределение ПАУ по органам растений имеет базипетальную направленность. Интенсивность биоаккумуляции полиаренов в растениях в значительной мере обусловлена содержанием БП в почве. Вынос полиаренов растением линейно зависит от дозы БП внесенной в почву в диапазоне значений от 0 до 20 нг/г. Увеличение доз внесенного в почву БП от 30 до 40 нг/г приводило к резкому снижению содержания полиаренов в растении. Подобные закономерности в накоплении ПАУ растениями при избыточных концентрациях БП в почве объясняются, по-видимому, наличием у растительного организма *Tradescantia (clon 02)* защитных механизмов.

Процессы образования «экстра»-ПАУ являются составной частью общего цикла полиаренов в системе почва – растение и выступают в качестве одного из основных регуляторов их внутрипочвенных превращений. Оценка количества «экстра»-ПАУ имеет важное практическое значение при определении экологической безопасности и корректировке возможного загрязнения почв и растений полиаренами.

### Литература

1. Convention on long-range transboundary air pollution and its protocols. United Nations. N.Y.; Geneva: ECE, 1996. 79 p.

2. Simonich S.L., Hites R.A. Organic pollutant accumulation in vegetation // Environ. Sci. and Technology. 1995. V. 29. № 12. P. 2905-2914.

3. Волощук В.М., Гапонюк Э.И. Некоторые вопросы влияния сельскохозяйственных ядохимикатов и техногенных токсикантов на биоту // Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияние на биосферу. Л.: Гидрометиздат, 1979. С. 41-49.

4. Аниськина М.В. Мутагенный и токсический эффекты у растений *Tradescantia (clon 02)* и *Arabidopsis thaliana* (L.) heynh., индуцированные нефтью и нефтепродуктами: Дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар. 2006. 132 с.

5. Simonich S.L., Hites R.A. Importance of vegetation in removing polycyclic aromatic hydrocarbons from the atmosphere // Natura. 1994. V. 370. № 7. P. 49-51.

6. Методика М 03-04-2002. Методика выполнения измерения массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием анализатора жидкости «Флюорат 02» в качестве флуориметрического детектора.

7. Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Спектрофлуориметрические методы анализа ароматических углеводородов в природных и техногенных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 215 с.

8. Яценко Н.Ю., Перминова И.В., Петросян В.С., Филиппова Е.М., Фадеев В.В. Взаимодействие гумусовых кислот различного происхождения с полиароматическими углеводородами: влияние pH и ионной силы среды // Вестник Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1999. Т. 40. № 3. С. 188-193.

9. Ильин В.Б. К оценке массопотока тяжёлых металлов в системе почва – сельскохозяйственная культура // Агрехимия. 2006. № 3. С. 52-59.

10. Дурмишидзе С.В., Буадзе О.А., Девдариани Т.В., Кахая М.Д., Кавтарадзе Л.К. Влияние бенз[а]пирена на ультраструктуру делящихся клеток корня кукурузы // Растения и химические канцерогены. Л.: Наука, 1979. С. 12-13.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 07-04-00285-а).*