

---

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПОЧВАХ ЮАО Г. МОСКВЫ\*

О.А. Максимова, С.В. Горяинов,  
К.Е. Самохина

Экологический факультет  
Российский университет дружбы народов  
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115093

В работе представлены результаты мониторинга содержания органического вещества I класса опасности бенз(а)пирена в почвах различных функциональных зон ЮАО г. Москвы. Установлено, что наиболее загрязнены (2—4 ПДК) почвы жилой зоны и зоны, непосредственно прилегающей к МКАД. Рассчитан коэффициент концентрации загрязняющего вещества,  $K_c$ , проведено категорирование почв по уровню опасности для населения.

**Ключевые слова:** ПАУ, бенз(а)пирен, загрязнение почв.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) — органические соединения, состоящие из трех или более конденсированных ароматических колец, в которых определенные атомы углерода являются общими для двух или трех колец. Кольца могут располагаться по прямой линии, под углом или в виде кластерных соединений. В окружающую среду ПАУ поступают в результате действия природных и антропогенных факторов. В формировании природного фона ПАУ, в частности бенз(а)пирена, участвуют различные абиотические и биотические процессы.

Образование ПАУ связано с высокотемпературными процессами. Сжигание твердых бытовых отходов, выбросы автотранспорта, термическая обработка пищи (копчение, сушка, жарение) являются причиной загрязнения окружающей среды и продуктов питания опасными соединениями. ПАУ не производятся промышленностью, однако в различных целях используются материалы, их содержащие. В современных условиях рост концентрации ПАУ связан с антропогенными процессами. Автомобильный транспорт существенно загрязняет атмосферу городов ПАУ. Так, среднегодовая концентрация бенз(а)пирена в атмосфере Европейской части территории России в 1993 г. составляла 0,05—0,15 нг/м<sup>3</sup>. Уровни содержания бенз(а)пирена в воздухе крупных промышленных центров находятся в интервале от 0,1 до 100 нг/м<sup>3</sup> и определяется плотностью размещения промышленных предприятий [1].

Почва является природной средой, депонирующей загрязнения. Фоновые концентрации ПАУ в почвах сильно зависят от их типа и характера использования. Содержание бенз(а)пирена в поверхностном слое почв сельских районов, находящихся вдали от промышленных центров, не превышает 5—8 нг/г сухой массы.

---

\* Работа выполнена на базе Центра коллективного пользования (Научно-образовательного центра) РУДН в 2012 г.

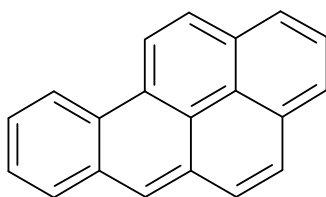
Максимальное содержание бенз(а)пирена наблюдается в поверхностных слоях почв и связано с тем, что гумусовые горизонты, содержащие наибольшее количество органических веществ, обладают более высокой сорбционной способностью по отношению к бенз(а)пирену. Фоновые концентрации бенз(а)пирена в растениях зависят от их способности накапливать ПАУ. Повышенным содержанием бенз(а)пирена отличаются мхи и лишайники (до 50 нг/г и более). Требования к содержанию бенз(а)пирена в различных объектах приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Требования к содержанию бенз(а)пирена**

Объект	ПДКсс	Источник
Атмосферный воздух населенных мест (городских и сельских поселений)	0,1 мкг/100 м <sup>3</sup>	ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»
Почва населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений, разного характера землепользования	0,02 мг/кг	ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»
Питьевая вода централизованных систем питьевого водоснабжения	0,000005 мг/л	СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества
Вода водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	0,000001 мг/л	ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
Воздух рабочей зоны	0,00015 мг/м <sup>3</sup>	ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»

Бенз(а)пирен (3,4-бензпирен, бензпирен, бензапирен) — один из самых распространенных представителей семейства полициклических ароматических углеводородов. Канцерогенная активность бенз(а)пирена в отношении экспериментальных животных подтверждена. Брутто-формула: C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>. Структурная формула приведена на рис. 1.

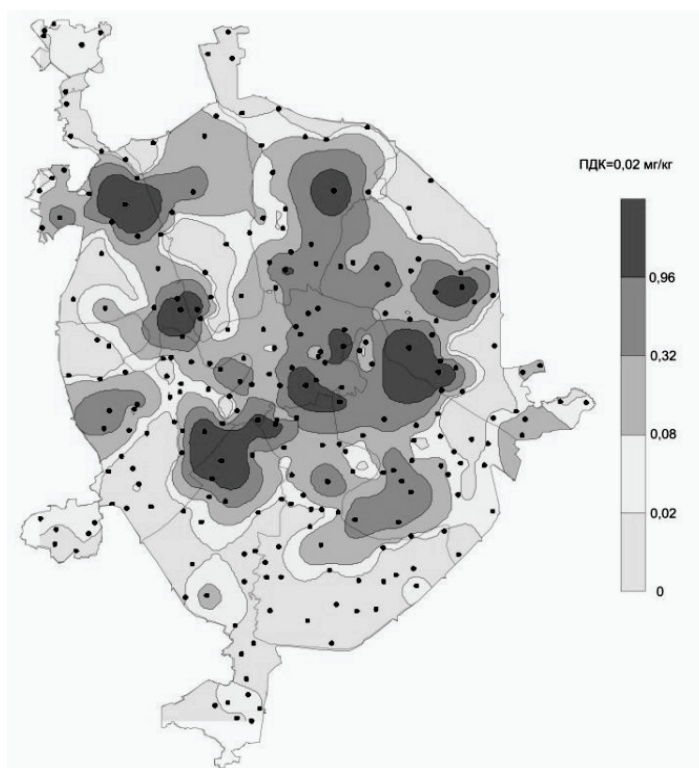


**Рис. 1.** Структурная формула бенз(а)пирена.

В молекулярно-дисперсном состоянии бенз(а)пирен может находиться лишь в ничтожно малых количествах. В воздухе он преимущественно связан с твердыми частицами атмосферной пыли. Твердые частицы, содержащие бенз(а)пирен, до-

вольно быстро выпадают из воздуха вследствие седиментации (разрушение коллоида и выпадение осадка), а также с атмосферными осадками и переходят в почву, растения, почвенные воды и водоемы. Это обуславливает довольно большую изменчивость концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе, которая зависит не только от интенсивности выброса его из источника загрязнения, но и от метеорологических условий. Будучи химически сравнительно устойчивым, бенз(а)пирен может долго мигрировать из одних объектов в другие. В результате многие объекты и процессы окружающей среды, сами не обладающие способностью синтезировать бенз(а)пирен, становятся его вторичными источниками. Физико-химические свойства ПАУ (гидрофобность, высокая сорбционная способность и стабильность) способствуют их аккумуляции в пригородных экосистемах.

**Загрязнение почвенного покрова города Москвы бенз(а)пиреном и нефтепродуктами.** По литературным источникам, среднее содержание бен(а)пирена как по округам, так и по функциональным зонам превышает ПДК. Наибольшее содержание бенз(а)пирена выявлено в ЦАО и СЗАО. В сравнении с предыдущими годами на 10% увеличилась доля точек с превышением ПДК (рис. 2) [2].



**Рис. 2.** Загрязнение почвенного покрова города Москвы бенз(а)пиреном [2]

Южный административный округ (ЮАО) занимает по площади третье место (13 149,3 га) среди всех АО Москвы, проживает в нем 1174 тыс. человек. Функциональное распределение земель в ЮАО отражено на диаграмме (рис. 3).



Рис. 3. Функциональное распределение земель в ЮАО.

По площади зеленых насаждений и других средосберегающих зон ЮАО занимает четвертое место среди всех округов Москвы. В границах округа расположены 40 парков и садов. Лесопарки Царицынский и Битцевский, Борисовские и Царицынские пруды — наиболее крупные зеленые зоны Москвы. Эти территории оказывает большое оздоравливающее влияние на экологическое состояние прилегающих районов.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Отбор проб.** Пробы отбирались вблизи автомагистрали (Каширское шоссе); в жилой зоне; в рекреации (природный парк «Царицыно»; район Борисовских прудов); на пустыре, свалке. С целью диагностики почвы на каждом из пяти участков было заложено по одному почвенному разрезу. Отбор проб почвы производился методом «конверта» с получением смешанной пробы массой 100—200 г (сухого веса). Пробы отбирали с горизонтов 0—10 и 10—20 см от поверхности.

**Оборудование и реагенты.** Подготовка проб к анализу на содержание бенз(а)пирена осуществлялась с помощью установки ASE-экстракции (Dionex, США). Пробы почв, представленные на анализ, измельчали и помещали в стальные экстракционные ячейки объемом 22 мл. Бенз(а)пирен экстрагировали из почвы смесью дихлорметан: ацетон (1 : 1 по объему). Режим работы ASE экстрактора: давление в системе — 10 МПа (1500 psi), рабочая температура — 100 °С, масса загружаемого образца — 20 г, промывочный объем — 60% от объема экстракционной ячейки, всего 3 цикла экстракции. Экстракт упаривали на роторном испарителе практически досуха, перерастворяли в 4 мл смеси дихлорметан: ацетон (1 : 1 по объему). Очистку экстракта проводили на хроматографической колонке, заполненной силикагелем. Степень экстракции анализируемого вещества во всех случаях составляла 98—102% (в сравнении с классическим методом экстракции в аппарате Сокслета). Процедура экстракции полностью соответствует методу EPA 3545, утвержденному

Агентством по охране окружающей среды для выделения полициклических ароматических углеводородов [4].

Анализ содержания бенз(а)пирена в пробах почв проводился на хромато-масс-спектрометре Thermo Focus DSQ II (капиллярная колонка Varian VF-5ms, длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина фазы 0,25 мкм, газ-носитель — гелий, скорость газа-носителя — 1,2 мл/мин., режим работы хроматографа: температура инжектора 290 °С, начальная температура печи хроматографа — 60 °С, затем нагрев со скоростью 6 °С/мин. до 280 °С, затем изотерма в течении 20 мин.; режим работы масс-спектрометра: энергия ионизации 70 эВ, температура источника 230 °С, сканирование в диапазоне 30—400 Да, а также в режиме селективного ионного детектирования по  $m/z$  252 со скоростью 1 скан/с. Масс-спектр бенз(а)пирена представлен на рис. 4.

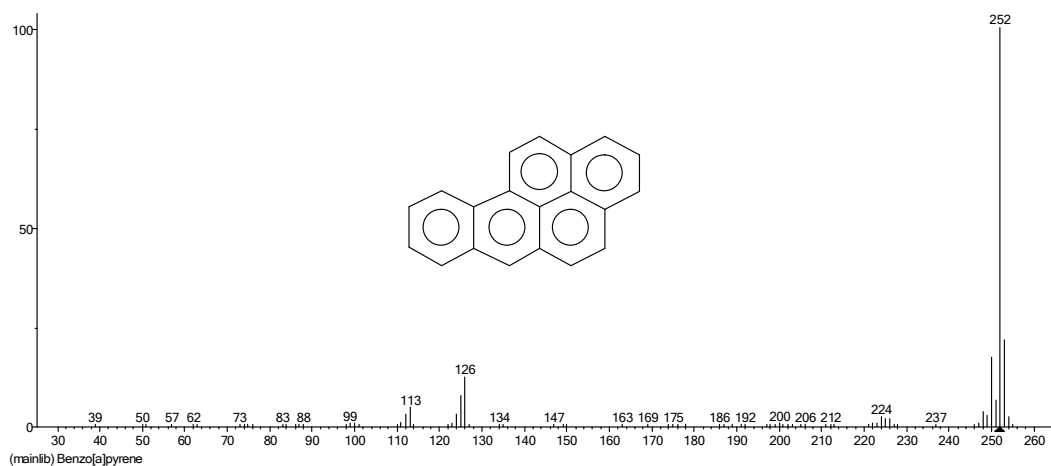


Рис. 4. Масс-спектр ИЭ бенз(а)пирена

Идентификацию бенз(а)пирена осуществляли путем сравнения экспериментально полученного в режиме полного ионного тока масс-спектра с таковым из базы NIST11. В качестве дополнительного параметра идентификации использовали индекс удерживания Ковача (RI 2773) для используемой в анализе капиллярной колонки.

Количественный анализ содержания бенз(а)пирена проводили методом внешней калибровки по серии стандартных образцов почв, загрязненных бенз(а)пиреном, в области концентраций 0,0005—1 мг/кг. Предел количественного обнаружения бенз(а)пирена в пробах — 0,0001 мг/кг [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В трех функциональных зонах из пяти концентрации бенз(а)пирена в почвах превышают ПДК (рис. 5).

Исходя из полученных данных были определены категории загрязнения почв органическими веществами по ПДК и классу опасности [3], коэффициенты концентраций химических веществ (табл. 2).

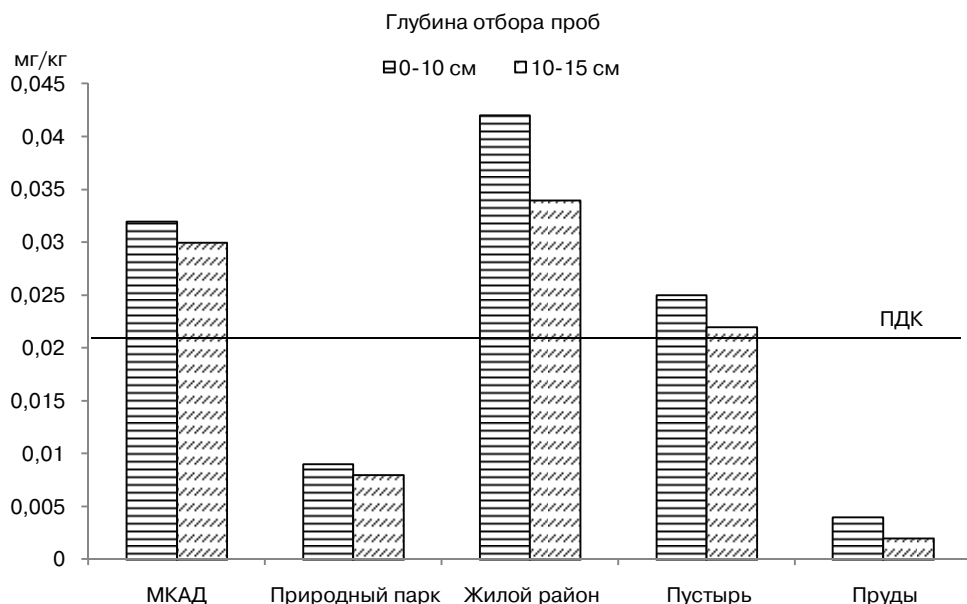


Рис. 5. Содержание бенз(а)пирена в различных функциональных зонах ЮАО г. Москвы

Таблица 2

Результаты определения содержания бенз(а)пирена, расчета  $K_c$  и категорирования загрязнений почв по степени опасности

Точки отбора проб	Содержание БаП, мг/кг		ПДК, мг/кг	$K_c$		Категория загрязнения почвы*	
	0—10 см	10—15 см		0—10 см	10—15 см	0—10 см	10—15 см
МКАД	0,032	0,03	0,021	8	15	Слабая	
Природный парк	0,009	0,008		2,25	4	Слабая	
Жилая зона	0,042	0,034	0,02	10,5	17	Сильная	Слабая
Пустырь	0,025	0,022		6,25	11	Слабая	
Борисовские пруды**	0,004	0,002		—	—	—	

\*При загрязнении почв одним веществом органического происхождения его опасность (категория загрязнения почв) определяется исходя из его ПДК и класса опасности [5].

\*\*Содержание бенз(а)пирена в почвах района Борисовских прудов было принято за фоновое значение.

Оценка уровня химического загрязнения почв как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Такими показателями являются: коэффициент концентрации химического вещества ( $K_c$ ) и суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ).  $K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве ( $C_i$ ) в мг/кг почвы к региональному фоновому ( $C_{\phi i}$ ):

$$K_c = C_i / C_{\phi i}$$

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой

$$Z_c = \sum K_c - (n-1),$$

где  $n$  — число определяемых суммируемых веществ.

В данном исследовании  $Z_c$  не рассчитывался, так как определялось только одно вещество.

В соответствии с методическими указаниями [3] все образцы почв относятся к категории загрязнения «слабое», кроме одного (пробы почв из жилой зоны с глубины 10—15 см относятся категории «сильное»). Тот факт, что коэффициент концентрации бенз(а)пирена в почве жилой зоны оказался выше на глубине 10—15 см, чем на поверхности, свидетельствует о длительном характере загрязнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.
- [2] Официальный сайт государственного природоохранного бюджетного учреждения «Мосэкомониторинг» (ГПБУ «Мосэкомониторинг»). — URL: <http://www.mosecom.ru/soil/zagryaz/piren>.
- [3] Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г.).
- [4] Richter B.E., Jones B.A., Ezzell J.L., Porter N.L., Avdalovic N., and Pohl C. Accelerated Solvent Extraction: A Technique for Sample Preparation // *Anal. Chem.* — 1996. — 68. — P. 1033—1039.
- [5] Jensen D., Höfler F., Ezzell J., and Richter B. Rapid Preparation of Environmental Samples by Accelerated Solvent Extraction (ASE) // *Polycyclic Aromatic Compounds.* — 1996. — 9. — P. 233—240.

#### LITERATURA

- [1] Rovinskij F.Ya., Teplickaya T.A., Alekseeva T.A. Fonovyj monitoring policiklicheskich aromatičeskich uglevodorodov. — L.: Gidrometeoizdat, 1988.
- [2] Oficial'nyj sajt gosudarstvennogo prirodooxran'nogo byudzhethnogo uchrezhdeniya «Mose'komonitoring» (GPBU «Mose'komonitoring»). — URL: <http://www.mosecom.ru/soil/zagryaz/piren>.
- [3] Metodicheskie ukazaniya MU 2.1.7.730-99 «Gigienicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennyx mest» (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 7 fevralya 1999 g.).
- [4] Richter B.E., Jones B.A., Ezzell J.L., Porter N.L., Avdalovic N., and Pohl C. Accelerated Solvent Extraction: A Technique for Sample Preparation // *Anal. Chem.* — 1996. — 68. — P. 1033—1039.
- [5] Jensen D., Höfler F., Ezzell J., and Richter B. Rapid Preparation of Environmental Samples by Accelerated Solvent Extraction (ASE) // *Polycyclic Aromatic Compounds.* — 1996. — 9. — P. 233—240.

## **DETERMINATION OF BENZOPYRENE IN SOILS OF MOSCOW**

**O.A. Maksimova, S.V. Goryainov,  
K.E. Samokhina**

Department of ecology  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093*

The results of monitoring of the persistent organic pollutant benzopyrene in soils of different functional areas of Moscow are presented. The highest concentrations of benzopyrene were found in the soils of the residential area and near the MKAD. The coefficients of the pollutant concentrations were calculated ( $K_c$ ), also the categorization of soils in terms of risk to the public were held.

**Key words:** polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), benzopyrene, soil pollution.