

УДК 632.122.2

СОДЕРЖАНИЕ БЕНЗ[А]ПИРЕНА В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА)

¹Назаренко Н.Н., ²Свистова И.Д.

¹*Воронежский государственный аграрный университет
им. императора Петра I, Воронеж, e-mail: talalajko@mail.ru;*
²*Воронежский государственный педагогический университет,
Воронеж, e-mail: i.svistova@mail.ru*

Рассмотрены уровни содержания бенз[а]пирена (БП) в почвах города Воронежа, определенные методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Основными источниками поступления токсиканта в городские почвы являются выбросы промышленных предприятий и автомобильного транспорта. Измеренная массовая доля БП варьировала в интервале 0,01–0,24 мг/кг почвы. Интенсивность загрязнения почв зависела от их принадлежности к зонам различного функционального назначения, рельефа местности и физико-химических свойств. По уровню содержания БП функциональные зоны города образуют ряд: промышленная > транспортная > селитебно-транспортная > рекреационная. Установлены максимальные превышения общесанитарного норматива БП в городских почвах промышленной зоны в среднем 5,8 ПДК, транспортной зоны – 3,3 ПДК. Эколого-геохимическая обстановка по состоянию загрязнения оценена в левобережье как чрезвычайно опасная (6 ПДК), а в правобережной части города – как опасная (2,5 ПДК).

Ключевые слова: городские почвы, бенз[а]пирен, загрязнение

CONTENTS OF BENZO [A] PYRENE IN SOILS URBAN AREAS (ON THE EXAMPLE VORONEZH CITY)

¹Nazarenko N.N., ²Svistova I.D.

¹*Voronezh State Agrarian University, Emperor Peter I, Voronezh, e-mail: talalajko@mail.ru;*
²*Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, e-mail: i.svistova@mail.ru*

The article describes the levels of benzo[a]pyrene in the soil of the city of Voronezh, defined by high performance liquid chromatography. The main sources of pollutant in urban soils are industrial emissions, and road transport. The measured mass fraction of toxicant varied in the range 0,01–0,24 mg/kg soil. The intensity of the contamination of urban soils depends on their belonging to different zones of functional purpose. In terms of the content of benzo[a]pyrene functional areas of the city form a series: industrial > transport > recreation. The maximum excess of the norm (MPC) to 5,8 times marked in the industrial zone of the city, and in the area of transport – up to 3,3 times. Ecological condition of soil the city is classified as hazardous.

Keywords: urban soil, benzo[a]pyrene, pollution

В настоящее время большой интерес вызывают исследования почв урбанизированных территорий, загрязнённых различными токсикантами [9–11, 17]. Важнейшую группу суперэкоотоксикантов составляют полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Геохимический мониторинг содержания ПАУ в почвах России осуществляется по бенз[а]пирену (БП), его общесанитарный показатель ПДК составляет 0,02 мг/кг [2]. Как канцероген он относится к первому классу опасности, обладает высокой мутагенной и тератогенной активностью [2, 8]. Известно, что, в зависимости от способа воздействия БП на организм человека, он приводит к увеличению частоты возникновения раковых заболеваний [18]. В гигиенических нормативах БП считается индикатором загрязнения окружающей среды и подлежит обязательному контролю на территории населенных пунктов [2].

Основными техногенными источниками поступления БП в биосферу являются выбросы крупных промышленных предприятий, имеющих производства, основанные на высокотемпературных технологических процессах, предприятия по производству электроэнергии, крупные и мелкие отопительные системы [7]. Значительный вклад в загрязнение атмосферы в населенных пунктах и вдоль магистралей вносят также выхлопные газы автотранспорта [1]. Бенз[а]пирен поступает в почву из загрязненного атмосферного воздуха с пылью, осадками и аккумулируется в их поверхностном горизонте. В городских ландшафтах углеводород способен сохраняться в течение нескольких десятков лет, что говорит о возможности его долгосрочного депонирования почвенным субстратом [6].

В последние годы проблеме изучения содержания, распределения и поведения БП

в почвах ряда крупных городов России уделяется особое внимание [6, 7, 17]. Однако почвы города Воронежа являются в этом отношении мало изученными. Ранее на территории города выполнен ряд аналитических исследований в мониторинговых точках контроля по экологическому зонированию городской среды и оценке риска для здоровья населения [1, 4].

Цель наших исследований – изучение роли техногенных факторов в формировании загрязнения бенз[а]пиреном почв урбанизированных территорий на примере Воронежа.

Материалы и методы исследования

Воронеж – крупный индустриально-промышленный город Центрального Черноземья с населением более 1 млн человек. На территории города исторически сложились несколько промышленно-производственных комплексов: левобережный, включающий ТЭЦ-1, заводы нефтехимического и авиационного профиля, и правобережный, где расположены ТЭЦ-2, заводы машиностроительного и радиотехнического направления. Около 85% в загрязнение воздушной среды города вносит автотранспорт. Согласно дан-

ным Управления Росприроднадзора по Воронежской области [3], валовый объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города за 2014 г. составил более 10 тыс. т/год (из них 5% относится к первому классу опасности). Наличие многочисленных низких источников выбросов в сочетании с транспортной загруженностью создают потенциальную угрозу опасного загрязнения городской среды.

Отбирали смешанные образцы летом 2014 г. из верхнего (0–10 см) слоя почвы. Отбор проб по функциональным зонам проводился отдельно для левобережной и правобережной частей города в силу разного рельефа, типа почв, гранулометрического состава, а также уровня техногенной нагрузки (табл. 1). Для правобережной части города характерны черноземы выщелоченные и серые лесостепные почвы, расположенные на суглинистых плакорах и пологих склонах, а левобережная – пониженная выровненная поверхность надпойменной террасы, где присутствуют в основном дерново-лесные песчаные и супесчаные почвы [1]. Согласно почвенной карте [16] на большей части территории города преобладают антропогенно-преобразованные почвы – урбаноземы и их разновидности. Зональные черноземные почвы в пределах города сохранились только на отдельных участках парков рекреационной зоны.

Таблица 1

Характеристика точек отбора почвенных проб на территории города Воронежа

№ п/п	Место отбора проб (*дополнительные источники загрязнения)	Функциональная зона	Тип почвы
<i>I – Левобережная часть города</i>			
1	Ленинский просп, д. 119; ЗАО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – Микрон» (автотранспорт)	промышленная	урбанозем
2	ул. Циолковского, 27; ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество»		индустризем
3	Ленинский проспект, 2; ОАО «Воронежский завод синтетического каучука» (автотранспорт)		
4	ул. Ростовская, 41; ЗАО «Воронежский шинный завод»		
5	ул. Лебедева, 2; ОАО «Квадра» – ТЭЦ-1 (автотранспорт)		
6	автотранспортная развязка: пересечение ул. Димитрова с ул. Брусилова	транспортная	урбанозем
7	пересечение ул. Димитрова с Ленинским пр.	селитебно-транспортная	
8	пересечение ул. Минская с Ленинским пр.		
9	парк Патриотов (автотранспорт)	рекреационная	культурозем
<i>II – Правобережная часть города</i>			
10	пр-д Ясный, д. 1А; ОАО «Квадра» – ТЭЦ-2	промышленная	индустризем
11	ул. Солнечная, 31; ОАО «Тяжмехпресс» (АЗС)		
12	ул. Космонавтов, 1; ЗАО «Асфальтобетонный завод» (автотранспорт)		
13	ул. Ворошилова, д. 22; ОАО «Воронежский механический завод»	транспортная	урбанозем
14	пересечение ул. Космонавтов с ул. Ворошилова (механический завод)		
15	пересечение ул. Плехановская с ул. Донбасская		
16	пересечение ул. Лизюкова с Московским просп.		
17	Центральный парк культуры и отдыха (автотранспорт)	рекреационная	культурозем
18	Ботанический сад ВГУ		чернозем

Химический анализ проведен в аккредитованном лабораторном центре «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Воронежской области». Концентрацию БП в пробах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуориметрическим детектором «Люмахром ФЛД 2410 Флюорат-02-2М» [14]. Физико-химические свойства почв определяли в лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения ВГАУ по общепринятым методикам [13]. Статистический анализ проводили в программном пакете Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

Физико-химическая трансформация свойств городских почв

Под влиянием урбанизации и техногенного воздействия произошли изменения физико-химических показателей в поверхностных горизонтах почв (табл. 2). Особенно сильно трансформировались щелочно-кислотные условия по сравнению с их природными аналогами: реакция среды вместо слабодиссоциированной стала в придорожных и промышленных ландшафтах города нейтральной и даже щелочной. Это может быть связано с осаждением на поверхность почвы техногенной пыли, содержащей карбонаты кальция и магния. Наряду с рН в поверхностном слое городских почв часто отмечается возрастание содержания органического углерода (гумуса). Если в культуроземах рекреационной зоны органическое вещество представлено природными фракциями гумуса, то в почвах промышленной и транспортной зоны в его составе преобладают органические соединения антропогенного происхождения. Наименьшие изменения претерпели почвы рекреационной зоны. Таким образом, трансформированные физико-химические свойства почвы промышленной и транспортной зоны города будут способствовать интенсивному загрязнению токсикантами и их аккумуляции на геохимических барьерах. Это дает основа-

ние рассматривать их как экологически неблагоприятные. В работах многих авторов отмечено [5, 12, 15], что БП достаточно хорошо сорбируется гумусом и органическими коллоидами почв в нейтральных и щелочных условиях среды.

Содержание и эколого-геохимическая оценка загрязнения городских почв БП

Согласно данным табл. 3, содержание БП в почвенном покрове города значительно варьирует. Самые высокие концентрации БП имеют антропогенно-преобразованные почвы, характеризующиеся значительной трансформацией своих физико-химических показателей. Так, в индустриемах промышленной зоны левобережья массовая доля токсиканта составляла (0,15–0,24 мг/кг), а правобережной – (0,10–0,12 мг/кг). В урбаноземах транспортных зон показатели несколько ниже, но в левобережной части города остаются на высоком уровне (0,05–0,18 мг/кг). Вероятно, сильное загрязнение на этой территории связано как с наличием большого количества автомобилей, так и близким расположением промышленных предприятий, что в совокупности определяет высокий уровень загрязнения почвенного покрова. Значения концентраций БП, близкие к ПДК, обнаружены в урбаноземах селитебно-транспортной зоны (0,01–0,04 мг/кг). Почвы рекреационной зоны на территории города имели массовые доли ниже ПДК (0,01 мг/кг). Наши результаты в целом соответствуют данным других авторов, согласно которым максимальные концентрации приурочены к транспортным и промышленным зонам, а минимальные – к селитебным и рекреационным [6, 7].

Для сравнения средних содержаний БП в почвах различных функциональных зон города Воронежа с ПДК рассчитан коэффициент его экологической опасности (K_o) (табл. 3). Превышение

Таблица 2

Физико-химические показатели поверхностных горизонтов городских почв Воронежа
(среднее значение по типам почв)

Свойства	Городские почвы						Фон	
	Урбанозем ($n = 8$)		Индустриезем ($n = 7$)		Культурозем ($n = 2$)			
	I*	II	I	II	I	II	I	II
рН вод.	7,2	7,5	8,2	7,8	6,8	6,4	6,3	6,7
Гумус, %	2,6	5,8	5,1	6,3	3,2	4,7	3,0	5,6

Примечание. * I – левобережная часть города, II – правобережная часть города.

Таблица 3

Содержание БП в почвах различных функциональных зон города Воронежа (результаты измерений с указанием погрешности при $P = 0,95$)

№ п/п	Городская зона	Среднее содержание, мг/кг	К ₀	К _с
I – Левобережная часть города				
В целом по левому берегу:		0,12 ± 0,05	6,0	12
1	промышленная	0,07 ± 0,02	3,5	7
2		0,24 ± 0,12	12,0	24
3		0,15 ± 0,04	7,5	15
4		0,11 ± 0,03	5,5	11
5		0,19 ± 0,05	9,5	19
6	транспортная, селитебно-транспортная	0,18 ± 0,05	9,0	18
7		0,05 ± 0,02	2,5	5
8		0,04 ± 0,02	2,0	4
9	рекреация	0,01 ± 0,004	0,5	–
II – Правобережная часть города				
В целом по правому берегу:		0,05 ± 0,02	2,5	5
10	промышленная	0,10 ± 0,03	5,0	10
11		0,12 ± 0,03	6,0	12
12		0,03 ± 0,01	1,5	3
13		0,05 ± 0,01	2,6	5
14	транспортная, селитебно-транспортная	0,03 ± 0,01	1,5	3
15		0,09 ± 0,02	4,5	9
16		0,01 ± 0,005	0,5	–
17	рекреация	0,01 ± 0,004	0,5	–
18		Менее 0,01	–	–

Примечание. Коэффициент накопления относительно: К₀ (ПДК), К_с (городского фона).

норматива БП в почвах достаточно высокое и в среднем составляет для левобережной части города 6 ПДК, а правобережной – 2,5 ПДК. Максимум накопления БП (К₀ = 12) отмечен в индустриеземах промышленной зоны левобережья (т. № 2). Согласно разработанному критерию эколого-геохимической оценки почв по БП [1], уровень загрязнения городских почв левобережной части города относится к чрезвычайно опасному (более 5 ПДК), а правобережной – к опасному (2–5 ПДК). Сравнение содержания БП в культуроземах парковых зон, принятых нами за урбанизированный фон, с концентрациями БП в антропогенно-нарушенных почвах (К_с) также выявляет высокий уровень загрязнения и свидетельствует о чрезвычайно опасной экологической обстановке, сложившейся на территории города. Приведенные выше коэффициенты концентрации БП можно использовать в качестве индикаторов уровня химического загрязнения городских почв.

Выводы

1. Основными источниками поступления бенз[а]пирена в почвы города Воронежа являются выбросы промышленных предприятий и автомобильного транспорта. Интенсивность загрязнения почвенного покрова определяется рельефом местности, типом почв и их физико-химическими свойствами.

2. По уровню содержания бенз[а]пирена функциональные зоны города образуют ряд: промышленная (5,8 ПДК) > транспортная (3,3 ПДК) > селитебно-транспортная (1,3 ПДК) > рекреационная (ниже ПДК).

3. Эколого-геохимическая обстановка по состоянию загрязнения почв в левобережье оценивается как чрезвычайно опасная (6 ПДК), а в правобережной части города – как опасная (2,5 ПДК). Городское население подвергается повышенному риску для здоровья в селитебно-транспортной и близко расположенной промышленной зоне.

Список литературы

1. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап, С.А. Епринцев, О.В. Клепиков и др. – Воронеж: Истоки, 2010. – 207 с.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М., 2006. – 15 с.
3. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2014 году // Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. – Воронеж: ВГУ, 2015. – 192 с.
4. Джувеликян Х.А. Экология и человек. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1999. – 360 с.
5. Когут М.Б., Шульц Э., Галактионов А.Ю., Титова Н.А. Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулоденсиметрических фракциях почв парков Москвы // Почвоведение. – 2006. – № 10. – С. 1182–1189.
6. Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз[а]пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 25–34.
7. Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н., Безносиков В.А., Габов Д.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах васьильевского острова (Санкт-Петербург) // Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1494–1500.
8. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоксикантов. – М.: Химия, 1996. – 319 с.
9. Михайлова А. А. Эколого-биологические особенности и подходы к нормированию загрязнения нефтепродуктами городской среды Архангельска: дис. ... канд. биол. наук. – Петрозаводск, 2014. – 158 с.
10. Назаренко Н.Н. Оценка структуры комплекса актиномицетов в техногенно нарушенных почвах урбоэко-системы // Индикация состояния окружающей среды: труды второй междунар. научно-практической конф. – М., 2013. – С. 225–229.
11. Назаренко Н.Н., Свистова И.Д. Биодинамика и загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами почв г. Воронежа // Экология и биология почв: материалы междунар. конф. – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 557–560.
12. Никифорова Е.М., Алексеева Т.А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах пригородных агроландшафтов Восточного Подмоскья // Почвоведение. – 2005. – № 11. – С. 1366–1380.
13. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с.
14. ПНД Ф 16.1:2.2.2:2.3:3.39-03. Методика выполнения измерений массовой доли бенз[а]пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений методом ВЭЖХ.
15. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 223 с.
16. Серeda Л.О., Яблонских Л.А., Куролап С.А. Мониторинг эколого-геохимического состояния почвенного покрова города Воронежа // Вестник Волгогр. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки. – 2015. – № 2 (12). – С. 66–72.
17. Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Содержание органических и неорганических загрязнителей в почвах южной части острова Сахалин // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 2012. – № 1. – С. 37–42.
18. Kimbrough R.D. The toxicity of polychlorinated polycyclic compounds and related chemicals // CRC. Rev. Toxicol. – 1974. – № 4. – P. 445–498.