

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В УРБАНОЗЕМАХ ВОРОНЕЖА

Н. Н. Назаренко¹, Н. В. Каверина², К. Е. Стекольников¹, И. Д. Свистова³

¹ Воронежский государственный аграрный университет

² Воронежский государственный университет

³ Воронежский государственный педагогический университет

Поступила в редакцию 28.12.2016 г.

Аннотация. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии оценено содержание бенз(а)пирена (БП) в почвах Воронежа. Функциональная структура города в сочетании с ландшафтно-геохимическими условиями относится к важным факторам, определяющим уровень техногенного воздействия на почву. Уровень загрязнения БП почв разных функциональных зон города увеличивается в ряду: рекреация < рекреация < промышленная < транспортная зона – для левобережной части города; рекреация < транспортная < промышленная зона – для правобережной части города. Геохимическая обстановка оценивается как чрезвычайно опасная в промышленной зоне левобережья (более 5 ПДК) и экологически опасная (2-5 ПДК) в промышленной зоне правобережья и транспортными зонами обеих частей города.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, городские почвы, загрязнение.

Abstract. We consider the levels of benzo(a)pyrene in soils Voronezh by high performance liquid chromatography. The functional structure of the city in conjunction with landscape-geochemical conditions refers to the most important factors determining the level of anthropogenic impact on the soil. Soil pollution level toxicant in different functional areas of the city increased in the following order: recreation < industrial zone < transport zone – for the left-bank part of the city; recreation < transport zone < industrial zone – for the right-bank part of the city. The geochemical conditions in the industrial area on the left bank is rated as extremely dangerous. Environmentally dangerous situation in traffic areas of the city and the industrial zone on the right bank.

Keywords: benzo(a)pyrene, urban soil, pollution

В урбоэкосистемах в результате техногенного воздействия проблема загрязнения окружающей среды становится приоритетной. Среди многочисленных загрязняющих веществ важная роль принадлежит полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ), которые обладают значительной устойчивостью и высокой канцерогенной, мутагенной и тератогенной активностью [1, 2]. Геохимический мониторинг содержания ПАУ в почвах России осуществляется по веществу первого класса опасности – 3,4-бенз(а)пирену (БП), его общесанитарный показатель ПДК составляет 0.02 мг/кг [3]. В гигиенических нормативах БП считается индикатором загрязнения окружающей

среды и подлежит обязательному контролю на территории населенных пунктов [3].

Важнейшие источники БП в городах – выбросы промышленных предприятий, автотранспорта, ТЭЦ [4, 5]. Основной депонирующей средой с хорошо выраженными барьерными функциями является почва. Физико-химические свойства почвы в значительной степени определяют интенсивность накопления, формы нахождения и последующую мобилизацию БП в окружающей среде [6, 7].

В последние годы проблеме изучения содержания, распределения и поведения БП в почвах ряда крупных городов России уделяется особое внимание [4, 5, 7]. Почвы города Воронежа в этом отношении изучены слабо, имеются единичные работы по оценке риска для здоровья населения от

воздействия комплекса экологических факторов, включая БП [8]. В рамках городской программы социально-гигиенического мониторинга, осуществляемого Центром гигиены и эпидемиологии в Воронежской области, содержание БП в почве контролируется в постоянных пунктах контроля [9].

По данным ряда авторов [8, 10-13] почвы города Воронежа испытывают значительный промышленно-транспортный прессинг. Отмечают обширные геохимические аномалии содержания тяжелых металлов, нефтепродуктов в почвенном покрове, указывают на значительное превышение уровня экологического риска, высокую заболеваемость населения. Согласно данным Управления Росприроднадзора по Воронежской области, валовый объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2014 г. составил более 10 тыс. т/год (из них 5% относится к первому классу опасности), при этом доля выбросов автомобильного транспорта составляет до 90% [14].

Цель нашей работы – оценить содержание БП в почве городских зон Воронежа с разным уровнем урбаногенной нагрузки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В национальной классификации почв России отсутствуют единые критерии диагностики почв урбанизированных ландшафтов, в связи с чем мы руководствовались классификацией антропогенно-преобразованных почв [15] и предложенной на ее основе почвенной картой Воронежа [8]. Для города характерен контрастный рельеф: правобережная часть располагается на холмистом плато, а левобережная – в пониженной плоскоравнинной местности, которая постепенно переходит в речную террасу.

На территории города сформировались и разные типы почв: левобережная часть в основном представлена дерново-лесными песчаными и супесчаными почвами, а на правобережье преобладают черноземы суглинистые различной мощности. В процессе урбанизации почвенный покров города претерпел существенные изменения: большая часть территории представлена антропогенно-преобразованными почвами или урбаноземами [8]. Почвы, слабо затронутые антропогенной деятельностью, сохранились на небольших участках лесопарковых зон и на окраинах города. Почвы рекреационных зон города (точки отбора №11, 12 и №23, 24) считаются условно чистыми, поэтому использовались нами для сравнения в качестве го-

родского фона.

Пробы почвы отбирали из слоя 0-15 см в августе 2014 г. на участках, относящихся к разным функциональным зонам города отдельно в левобережной и правобережной части (табл. 1). В транспортных зонах пробы отбирали на расстоянии 3 м от полотна дороги. В связи с микроразнообразием строения почвы анализировали смешанную пробу из 5 образцов, взятых в одной точке отбора.

Геохимический анализ отобранных образцов проведен на базе лаборатории Воронежского филиала ФБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу». Извлечение бенз(а)пирена выполняли методом жидкостной экстракции, экстрагентом служил *n*-гексан. Экстракты анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) со спектрофлуориметрическим детектированием («Флюорат-02-2М») с учетом требований, установленных международным стандартом [16].

Физико-химические анализы почв выполнены в почвенной лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения Воронежского ГАУ по общепринятым методикам. Общее содержание органического углерода определяли по Тюрину в модификации ЦИНАО, рН водной вытяжки – потенциометрически, сумма обменных оснований по Каппену. Статистический анализ проводили в программном пакете Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате урбаногенной нагрузки химические свойства почв города Воронежа изменились по сравнению с фоном и характеризуются значительной пространственной неоднородностью по городским зонам (табл. 2).

Важным показателем трансформации городских почв служит изменение их кислотности. Результаты измерений актуальной кислотности указывают на то, что величина рН в обеих частях города колебалась от нейтральной до слабощелочной. Фоновые почвы рекреаций имеют слабо кислую реакцию среды, что свойственно почвам данной почвенно-климатической зоны. В почвах промышленных и транспортных зон города наблюдается значительное подщелачивание. Более выражены эти изменения в левобережной части города. Аналогичные данные получены другими авторами по Воронежу [8, 13] и городам России [4, 17].

Одним из информативных признаков, отражающих функциональные нарушения в городских

почвах, является содержание органического вещества. В своей работе для количественной характеристики этого показателя мы использовали содержание органического углерода, а не гумуса, т. к. расчет последнего в условиях техногенных ландшафтов может быть связан с ошибкой из-за присутствия в урбаногемах большого количества разнородного органического материала. Сведения о динамике этого показателя в городских почвах противоречивы.

В целом, распределение органического углерода в почвах исследуемой территории довольно

неравномерно и определяется комбинацией природных и техногенных факторов. Содержание $S_{орг}$ в почвах рекреационных зон обусловлено, в основном, природными факторами почвообразования. Определенный вклад в баланс органического вещества здесь могут вносить и антропогенные процессы: осаждение техногенного углерода выбросов, поступление органического мусора [17].

Напротив, в урбаногемах города промышленной и транспортной зоны отмечено большее содержание $S_{орг}$ по сравнению с фоновыми почвами. Это можно объяснить преобладанием в его составе, в

Таблица 1

Характеристика точек отбора на территории Воронежа

№	Место отбора проб	Городская зона	Тип почвы [8]	
ЛЕВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
1	Ленинский пр-т, 119; ЗАО «Воронежский завод полупроводниковых приборов - Микрон»	промышленная	урбанозем	
2	Ул. Циолковского, 27; ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество»			
3	Ленинский проспект, 2 «Воронежский завод синтетического каучука»			
4	Ул. Ростовская, 41; АО «Амтел-Черноземье»			
5	Ул. Лебедева, 2; ОАО «Квадра» - ТЭЦ-1			
6	Ул. Б. Хмельницкого, 1; ОАО «Вагонреммаш»			
7	Пересечение ул. Димитрова с ул. Брусилова	транспортная		
8	Пересечение ул. Димитрова с Ленинским пр.			
9	Пересечение ул. Минская с Ленинским пр.			
10	Ул. Лебедева			
11	Парк «Патриотов»	рекреация	дерново-лесная	
12	Парк «Алые паруса»			
ПРАВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
13	Пр-д Ясный, д. 1А; ОАО «Квадра» - ТЭЦ-2	промышленная	урбанозем	
14	Ул. Солнечная, 31; ОАО «Тяжмехпресс»			
15	Ул. Космонавтов, 1 ЗАО «Асфальтобетонный завод»			
16	Ул. Ворошилова, д.22 ОАО «Воронежский механический завод»			
17	Ул. Конструкторов, 31 ОАО «Воронежский керамический завод»			
18	Пересечение ул. Транспортная с ул. Урицкого			транспортная
19	Пересечение ул. Плехановская с ул. Донбасская			
20	Пересечение ул. Лизюкова с Московским просп.			
21	Пересечение ул.9 Января с пр. Труда			
22	Подъем с Чернавского моста (ул. Ст. Разина)			
23	Центральный парк культуры и отдыха	рекреация	чернозем	
24	Санаторий им. Горького			

Таблица 2

Химическая характеристика почвы различных зон г. Воронежа (M±tm)

Зоны города	pH _{водн}	S орг, %	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , мг-экв/100г	Насыщенность основаниями, %
ЛЕВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
Транспортная	7.2±1.4	4.8±1.4	28.7±4.6	90.7
Промышленная	7.8±0.9	4.0±2.1	30.8±5.1	94.8
Рекреация	6.2±0.7	2.8±0.9	14.9±2.3	70.7
ПРАВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
Транспортная	7.8±1.1	6.0±3.0	42.2±6.4	96.8
Промышленная	7.6±1.3	7.2±1.8	34.9±8.2	96.1
Рекреация	6.6±0.5	4.8±1.2	26.5±3.8	83.8

основном, органических соединений антропогенного происхождения. Подтверждением данного факта являются опубликованные нами ранее данные о содержании органических загрязнителей в урбаноземах г. Воронежа [10, 11]. Необходимо учитывать и использование реплантоземов для озеленения придорожных территорий. Ряд других авторов [7, 17, 18], также отмечают возрастание содержания органического вещества в городских почвах по сравнению с зональными аналогами.

Изучая состояние почвенно-поглощающего комплекса (ППК) городских почв, следует отметить высокую степень насыщенности основаниями. Особенно это характерно для урбаноземов промышленных и транспортных зон, где значения были близки к 100%. Наиболее богаты обменными катионами кальция и магния поверхностные слои урбаноземов правобережной части города. В урбаноземах левобережной части города эти показатели ниже, но почти в 3 раза превышают фоновые значения. Аналогичные данные получены ранее Н.Е. Кошелевой и Е.М. Никифоровой [4] на примере урбаноземов г. Москвы, объясняя причину подщелачивания накоплением строительного мусора.

Таким образом, в зоне влияния г. Воронежа происходит изменение физико-химических свойств почвы, что свидетельствует о превышении почвенного гомеостаза. В урбаноземах г. Москвы сформированных на основе дерново-подзолистых почв эти изменения более выражены. Напротив, в урбаноземах г. Воронежа различия с фоном менее значительны, что объясняется большей гумусированностью и насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса двухвалентными катионами исходных зональных почв. Отмеченные выше изменения (табл. 2) могут способствовать накоплению токсикантов в почве и их аккумуляции, и это дает основание рассматривать их как экологически неблагоприятные.

Наиболее значимым экологическим процессом антропогенного преобразования почв урбанизированных территорий является загрязнение

бенз(а)пиреном. Ранее было показано, что содержание БП в почве городских территорий (Москва, Санкт-Петербург) может достигать 0.83 мг/кг [5, 6].

В почвенном покрове Воронежа содержание БП значительно варьирует от 0.001 до 0.261 мг/кг, изменяясь по функциональным зонам (табл. 3). В фоновых почвах рекреационных зон левобережья и правобережья средние содержания токсиканта значительно ниже ПДК. В урбаноземах, в целом по городу, установлены локальные геохимические очаги с высокими значениями БП. Так, в промышленной зоне левобережья массовая доля токсиканта составляла в среднем 0.132 мг/кг, а в отдельных точках отбора №2, №3, №5 достигала максимальных значений. В урбаноземах транспортной зоны показатели в 2 раза ниже по сравнению с предыдущей зоной, но остаются высокими относительно ПДК и городского фона. В целом, на долю Левобережного района приходится 36% от общего объема воздушных выбросов, а в выбросах предприятий нефтехимического профиля содержатся токсичные органические вещества [8, 14].

В правобережной части города среднее содержание БП в урбаноземах промышленной зоны также высокое, однако ниже чем на левобережье. Локальные очаги с высокими показателями отмечены в некоторых точках отбора №13, №14. В отличие от предыдущей зоны частота встречаемости проб с содержанием БП от 0.061 до 0.077 мг/кг возрастает до 70% в транспортной зоне. Ранее проведенные исследования [8] подтверждают высокую корреляцию между автотранспортной нагрузкой и концентрацией загрязняющих веществ в почве правобережной части города.

По мнению ряда авторов [4, 7] БП достаточно хорошо сорбируется органическими коллоидами почв в нейтральных и щелочных условиях среды. Известно также, что БП способен сохраняться в почве в течение нескольких десятков лет, что говорит о возможности его долгосрочного депонирования в почве [4].

Таблица 3

Валовое содержание БП в почвах г. Воронежа, мг/кг почвы

Городская зона	Min-max	M±tm	Ko*	Kc**
ЛЕВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
Промышленная	0.069-0.261	0.132±0.051	6.6	66
Транспортная	0.011-0.180	0.060±0.024	3.0	30
Городской фон (Рекреация)	0.001-0.003	0.002±0.015	0.1	-
ПРАВОБЕРЕЖНАЯ ЧАСТЬ ГОРОДА				
Промышленная	0.027-0.103	0.058±0.037	2.9	14.5
Транспортная	0.012-0.121	0.072±0.021	3.6	18
Городской фон (Рекреация)	0.001-0.005	0.004±0.004	0.2	-

*Коэффициент опасности относительно ПДК;

**Коэффициент концентрации относительно городского фона

Для оценки экологического состояния исследуемой территории нами использовались рекомендованные показатели [6]. Растёт коэффициент опасности (Ко) позволил определить уровень химического загрязнения почвы разных зон Воронежа (табл. 3). Максимум накопления БП обнаружен в урбаногемах промышленной зоны левобережья, что согласно критериям эколого-геохимической оценки почв соответствует чрезвычайно опасному уровню (более 5 ПДК). В транспортных зонах города и промышленной зоне правобережья значения рассматриваемого показателя ниже, что характеризует уровень загрязнения этих урбаногемах как опасный (2-5 ПДК).

Для оценки способности БП к накоплению в городских почвах были рассчитаны их коэффициенты концентрации (Кс) (табл. 3). Данный показатель определялся как отношение фактического содержания токсиканта в исследуемой почве к его городскому фону. Наиболее высокие значения накопления БП в городских почвах (Кс 30 и Кс 66) характерны для транспортной и промышленной зоны левобережья. В правобережной части города коэффициенты концентраций по функциональным зонам в несколько раз ниже, чем в урбаногемах левобережья, но относительно городского фона очень высоки. Приведенные выше экологические коэффициенты свидетельствуют о том, что в целом по городу исследуемые урбаногема промышленно-транспортных зон имеют опасный уровень загрязнения 3,4-бенз(а)пиреном.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Процессу интенсивного накопления БП поверхностными горизонтами городских почв способствуют изменения физико-химических свойств (щелочная реакция среды, высокое содержание органического углерода, повышенное содержание катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в ППК).

2. Функциональная структура города в сочетании с ландшафтно-геохимическими условиями относится к важным факторам, определяющим уровень техногенного воздействия на почву. Уровень загрязнения БП почв разных функциональных зон г. Воронежа увеличивается в ряду: *рекреация* < *промышленная* < *транспортная зона* – для левобережной части города; *рекреация* < *транспортная* < *промышленная зона* – для правобережной части города.

3. Геохимическая обстановка оценивается как *чрезвычайно опасная* в промышленной зоне левобережья (более 5 ПДК) и экологически *опасная*

(2-5 ПДК) в промышленной зоне правобережья и в транспортных зонах обеих частей города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майстренко В.Н. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов / В.Н. Майстренко, Р.З. Хамитов, Г.К. Будников. — М.: Химия, 1996. — 319 с.

2. Kimbrough R.D. The toxicity of polychlorinated polycyclic compounds and related chemicals / R.D. Kimbrough // CRC. Rev. Toxicol. — 1974. — № 4. — P. 445-498.

3. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. — 15 с.

4. Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в городских почвах (на примере ВАО Москвы) / Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. — 2011. — № 2. — С. 25-34.

5. Полициклические ароматические углеводороды в почвах Васильевского острова (Санкт-Петербург) / Е.Д. Лодыгин [и др.] // Почвоведение. — 2008. — № 12. — С. 1494-1500.

6. Касимова Н.С. Экогеохимия городских ландшафтов. — М., 1995. — 92 с.

7. Когут М.Б. Содержание и состав полициклических ароматических углеводородов в гранулоденсиметрических фракциях почв парков Москвы / М.Б. Когут, А.Ю. Галактионов, Н.А. Титова // Почвоведение. — 2006. — № 10. — С. 1182-1189.

8. Интегральная оценка экологического состояния городской среды / С.А. Куролап [и др.]. — Воронеж: Научная книга, 2015. — 232 с.

9. Воронеж: среда обитания и зоны экологического риска / С.А. Куролап [и др.]. — Воронеж: Истоки, 2010. — 207 с.

10. Назаренко Н.Н. Биодинамика и загрязнение тяжелыми металлами и нефтепродуктами почв г. Воронежа / Н.Н. Назаренко, И.Д. Свистова // Экология и биология почв: материалы междунар. конф. — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 557-560.

11. Назаренко Н.Н. Углеродное загрязнение городских почв в условиях антропогенного воздействия / Н.Н. Назаренко, А.К. Свистов, Н.В. Каверина // Экология родного края: проблемы и пути решения: материалы научно-практ. конф. — Киров, 2016. — С. 57-60.

12. Назаренко Н.Н. Биоиндикация почвы транспортных зон г. Воронежа / Н.Н. Назаренко,

И.И. Корецкая, И.Д. Свистова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. — 2015. — № 1. — С. 46-50.

13. Сафонова И.В. Оценка антропогенного загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий городского округа г. Воронеж / И.В. Сафонова, С.А. Епринцев, Н.В. Каверина // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. — 2014. — № 3. — С. 99-104.

14. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2015 году // Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. — Воронеж: ВГУ, 2014. — 192 с.

15. Строганова М.Н. Городские почвы, генезис, классификации, функции / М.Н. Строганова, А.Д. Мягкова, Т.В. Прокофьева // Почва, город,

экология. Под общ. ред. Г.В. Добровольского. — М., 1997. — С. 15-88.

16. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.39-03. Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений методом ВЭЖХ.

17. Дабахов М.В. Особенности техногенной трансформации почв Нижнего Новгорода / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Агрохимический вестник. — 2011. — № 2. — С. 21-23.

18. Серeda Л.О. Мониторинг эколого-геохимического состояния почвенного покрова города Воронежа / Л.О. Серeda, Л.А. Яблонских, С.А. Куролап // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. Естественные науки. — 2015. — № 2. — С. 66-72.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

Назаренко Н. Н., кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и защиты растений

E-mail: talalajko@mail.ru

Тел.: +7 910 343-15-76

Стекольников К. Е., доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения

E-mail: talalajko@mail.ru

Тел.: +7 951 856-58-05

Воронежский государственный университет
Каверина Н. В., кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды

E-mail: knataliy@mail.ru

Тел.: +7 910 240-62-58

Воронежский государственный педагогический университет

Свистова И. Д., доктор биологических наук, профессор кафедры биологии растений и животных

E-mail: i.svistova@mail.ru

Тел.: +7 919 236-48-69

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I

Nazarenko N. N., Assistant Professor, Dept. of plants biology and protection

E-mail: talalajko@mail.ru

Ph.: +7 910 343-15-76

Stekol'nikov K. E., PhD., Full Professor, Dept. of Agrochemistry and soil science

E-mail: talalajko@mail.ru

Ph.: +7 951 856-58-05

Voronezh State University
Kaverina N. V., PhD., Associate Professor, Dept. of Geo-ecology and environmental protection ring,

E-mail: knataliy@mail.ru

Ph.: +7 910 240-62-58

Voronezh State Pedagogical University
Svistova I. D., PhD., Full Professor, Dept. of plant and animal biology

E-mail: i.svistova@mail.ru

Ph.: +7 919 236-48-69