

УДК 504.53.054/064+547.62

М.А. Смирнова¹, А.Н. Геннадиев², Ю.Г. Чендев³

ВЛИЯНИЕ ЛЕСОПОЛОС НА НАКОПЛЕНИЕ ПОЛИАРЕНОВ В ПОЧВАХ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Получены данные, характеризующие особенности накопления полициклических ароматических углеводородов (ПАУ, полиарены) в почвах лесополос и прилегающих сельскохозяйственных полей. Расположенный в пределах Белгородской области участок исследования (1500 га) представлен пашней с разветвленной сетью лесополос, ориентированных как вдоль, так и поперек основного источника загрязнения (железнодорожной дороги). На основании опробования почвенного покрова в 49 точках показано, что почвы лесополос характеризуются более высокими запасами полиаренов в слое 0–25 см (от 1,50 до 7,02 мкг/м²) по сравнению с почвами прилегающих пашен (0,23–1,70 мкг/м²), что обнаруживается как для легких, так и для тяжелых ПАУ. Это явление обусловлено барьерным эффектом лесонасаждений по отношению к воздушным потокам поллютантов и более низкими темпами разрушения полиаренов в почвах лесополос. При увеличении расстояния от источника поступления полиаренов наиболее заметно происходит уменьшение запасов бенз(а)пирена и бенз(ghi)перилена. В отсутствие пахотного режима для формирования поверхностно-аккумулятивного типа распределения полиаренов в верхних 25 см почв лесополос на удалении до 2,5 км от железной дороги оказывается достаточно 65 лет.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, бенз(а)пирен, загрязнение, лесомелиорация, черноземы

Введение. В широком ряду исследовательских тем, касающихся антропогенной трансформации почв, отдельное место занимают вопросы их изменения под воздействием лесополос. Эта проблема весьма значима в связи с признанием агролесомелиорации важным инструментом управления качеством почв и повышения их плодородия. В настоящее время накоплен достаточно большой объем сведений по разным аспектам влияния лесополос на урожайность сельскохозяйственных культур и такие почвенные свойства, как тепловой и водный режимы, солевое состояние, гумусированность, обеспеченность элементами питания растений и др. Вместе с тем, многие другие функции защитных лесных насаждений остаются пока малоизученными, хотя они не менее актуальны с научной и практической точек зрения.

В частности, требует более детального анализа и оценки барьерная роль лесополос, которую они выполняют по отношению к аэрогенным потокам поллютантов, прежде всего в районах с существенной индустриальной нагрузкой [Zhang et al., 1997; Beckett et al., 1998; Nowak et al., 2006; Onyewotu et al., 2004].

В основном лесополосы располагаются вдоль линейных источников загрязнения – автомобильных и железных дорог. Отработанные продукты бензиновых и дизельных двигателей содержат большое количество загрязняющих веществ различных классов [Duran et al., 2001], среди которых наиболее токсичными и опасными для человека являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены) [Andersen et al., 2019]. В плане первостепенности экологического мониторинга эти соединения относят к приоритетным поллютантам.

Полиарены представляют собой высокомолекулярные органические соединения, в структуре которых содержится два и более бензольных кольца. Группа ПАУ обширна и включает несколько сотен индивидуальных соединений. ПАУ могут поступать в окружающую среду, в том числе в почвы, из природных и антропогенных источников. К природным источникам ПАУ относят: космические, эндогенные геологические и биологические. Антропогенные источники включают производство алюминия, креозота, цемента, нефтехимическую промышленность, производство асфальта. ПАУ также продуцируются в процессах выработки энергии, неполного сжигания угля, мусора, при работе бензиновых и дизельных транспортных двигателей [Геохимия ..., 1996; Wilcke, 2000; Wilcke, 2007].

Почвенный покров является депонирующей средой для полиаренов. Процессами, определяющими их поведение в почвах, являются: сорбция, деградация, преимущественно микробиологическая, испарение, фотодеструкция, вымывание. В целом, в воде ПАУ малорастворимы, а по мере увеличения молекулярного веса их растворимость уменьшается. Передвигаются в почвах эти соединения в основном в сорбированном виде [Цибарт, Геннадиев, 2013].

Почвенный покров является депонирующей средой для полиаренов. Процессами, определяющими их поведение в почвах, являются: сорбция, деградация, преимущественно микробиологическая, испарение, фотодеструкция, вымывание. В целом, в воде ПАУ малорастворимы, а по мере увеличения молекулярного веса их растворимость уменьшается. Передвигаются в почвах эти соединения в основном в сорбированном виде [Цибарт, Геннадиев, 2013].

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* summerija@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* alexagenna@mail.ru

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Институт наук о Земле, кафедра природопользования и земельного кадастра, зав. кафедрой, докт. геогр. н.; *e-mail:* chendev@bsu.edu.ru

Целью настоящего исследования была оценка роли лесополос как фактора воздействия на аэрогенные потоки и накопление в почвах полициклических ароматических углеводородов. В задачи работы входило: а) установить особенности содержания и состава ПАУ в почвах лесополос и прилегающих полей; б) получить представление об интенсивности преобразования полиаренов в почвах лесополос по сравнению с почвами пашен; в) охарактеризовать содержание и состав полиаренов в почвах полей в связи с их удаленностью относительно источника поллютантов и положением относительно лесополос.

Объекты и методы исследования. В данной работе изучались почвы сельскохозяйственных полей и обрамляющих их лесополос, находящихся в Грайворонском районе Белгородской области, недалеко от поселка Горьковский (координаты центра участка 50,4566° с. ш., 35,8162° в. д.). Территория исследования была выбрана таким образом, чтобы она располагалась на достаточном удалении от центров промышленного производства, а в качестве доминирующего источника полиаренов выступал преимущественно железнодорожный транспорт. При этом на участке в пределах разветвленной сети лесополос последние должны были быть ориентированы как вдоль, так и поперек линейного источника загрязнения. Обрамленные лесополосами сельскохозяйственные поля на участке имели в плане прямоугольную форму и размеры 800–1000×1000–1500 м. Их общая площадь составляла около 800 га (рис. 1).

Климат территории умеренно континентальный с жарким летом и сравнительно холодной зимой, коэффициент увлажнения равен 1. По данным метеостанции Готня, расположенной в 29 км к северу от района исследований, преобладающими ветрами за период 2005–2019 гг. являлись СВ ветры (8,3%), часты были южные (8%) и западные (7,2%) ветры; таким образом, роза ветров не имеет ярко выраженного доминантного направления. Среднегодовое количество осадков составляет около 600 мм, среднегодовалая температура воздуха +7,8°C.

Исследуемые лесополосы отображены на крупномасштабной топографической карте 1955 г., поэтому их возраст составляет не менее 65 лет. Преобладающими древесными породами являются ясень обыкновенный, клен остролистный, вяз малый, в некоторых рядах встречается дуб черешчатый. Высота деревьев – 20–25 м, средний диаметр стволов – 35–40 см. Подрост состоит преимущественно из ясеня и клена, в подлеске встречаются робиния обыкновенная, крушина ломкая. Травянистый ярус представлен фрагментарными ассоциациями с проективным покрытием не более 40%. Встречены купена многоцветковая, чистотел, гравилат городской, мятлик лесной, сныть, ландыш, подмаренник, фиалка лесная и некоторые другие виды. Поверхность почвы часто покрыта сухим валежником из отпада веток деревьев и упавшими молодыми деревьями. В целом, по особенностям породного состава и возраста деревьев все исследованные ле-

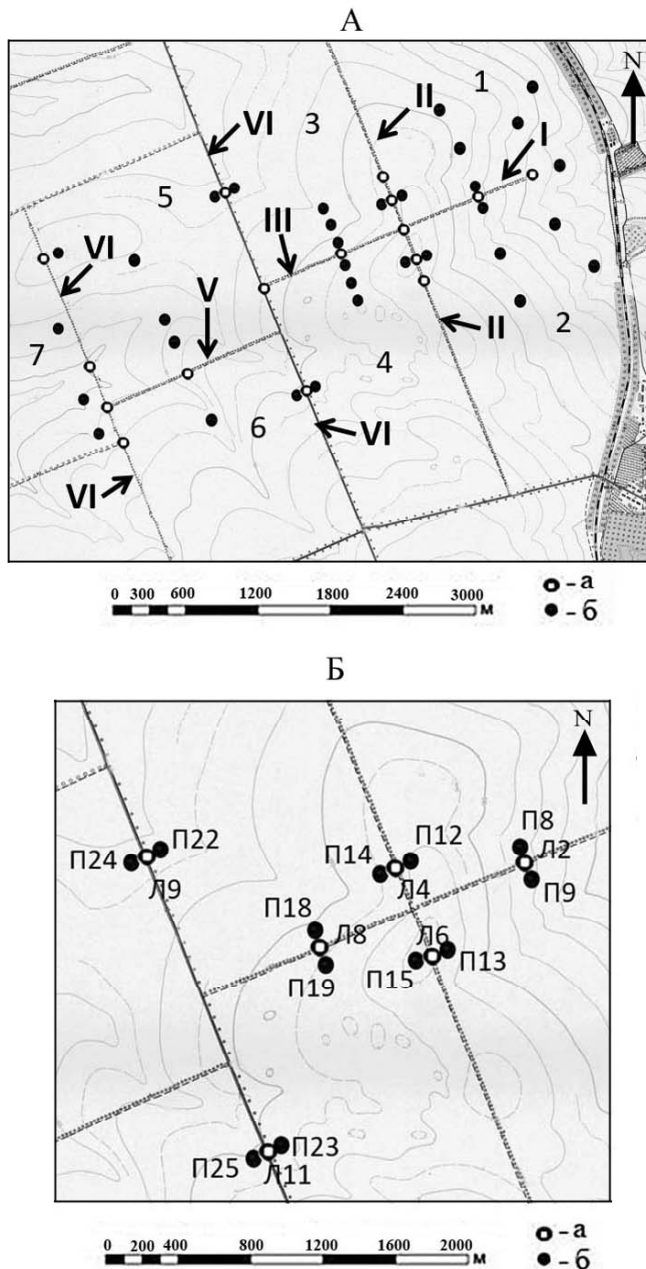


Рис.1. Карты фактического материала с указанием точек отбора проб (а – в лесополосах, б – на полях); А – участок исследований с указанием номеров полей (арабские цифры) и лесополос (римские цифры), Б – фрагмент участка исследований с наименованиями точек опробования

Fig. 1. Site location maps indicating the sampling points (a – in shelterbelts, б – in the fields); А – key site with the numbers of fields (Arabic figures) and shelterbelts (Roman figures), Б – fragment of the key site with the names of sampling points

солопосы могут считаться сходными. Они многорядные, за исключением лесополос II, V количество рядов составляет 8–12 при средней ширине в 30–40 м. Ширина лесополос II, V варьирует от 20 до 30 м, количество рядов – 5–8. Структура севооборотов сельскохозяйственных полей представлена зерновыми культурами (преобладают яровой ячмень и озимая пшеница), пропашными культурами (кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла) и многолетними тра-

вами. Обработка почв в основном проводится методом отвальной вспашки с оборотом пласта [Заздравных, 2017].

Основным источником поступления углеводородов в почвы района исследований, как уже отмечалось выше, является железнодорожный транспорт – локомотивы, работающие на дизельном топливе. Железная дорога была введена в эксплуатацию в 1911 г. в составе линии Льгов–Харьков Северо-Донецкой железной дороги [Павлов, Уздин, 1997]. Она расположена в восточной части ключевого участка на расстоянии около 500 м от ближайшей линии отбора проб, около 5 км от наиболее отдаленной.

Среди ПАУ, поступающих в атмосферу с выбросами дизельных локомотивов, встречаются как низко, так и высокомолекулярные соединения, в том числе наиболее опасный бенз(а)пирен. Дополнительными локальными источниками поступления высоко- и низкомолекулярных полиаренов в почвы могут являться сельскохозяйственная техника, работающая на полях, и автотранспорт, проезжающий по дороге местного значения; преимущественно низкомолекулярные полиарены могут продуцироваться в процессе сжигания стерни на полях [Геннадиев и др., 2015].

Преобладающими почвами на участке исследования являлись черноземы типичные, в качестве почвообразующих пород выступали карбонатные лессовидные суглинки. Глубина залегания грунтовых вод – более 10 м [Ахтырцев, Соловichenko, 1984]. Содержание органического углерода в почвах исследуемого района около 5%, верхний гумусовый горизонт содержит около 26% илестой фракции и 55% физической глины [Путеводитель ..., 2016]. Данные особенности обуславливают высокую сорбционную способность почв по отношению к полиаренам, поступающим в почвы из аэрогенных потоков.

Отбор проб для анализа проводился по трансектам, параллельным и перпендикулярным лесополосам, образующим сетку (см. рис. 1). Образцы почв отбирались с глубин 0–5, 5–10, 10–25 и 25–50 см в осевых частях лесополос и с глубин 0–25 см и 25–50 см из почв сельскохозяйственных полей. Всего было отобрано 64 образца из почв шести лесополос (16 точек опробования) и 66 образцов из почв семи полей (33 точки опробования).

В лабораторных условиях отобранные почвенные образцы были высушены при комнатной температуре, растерты и просеяны через сито с размером ячейки 0,25 мм. Экстракция углеводородов была выполнена н-гексаном при комнатной температуре. Методом спектроскопии Шпольского [Пиковский и др., 2017] при низких температурах было определено содержание 11 полициклических ароматических углеводородов: дифенила и гомологов нафталина (2-ядерные соединения); флуорена, фенантрена, антрацена (3-ядерные соединения); хризена, пирена, тетрафена (4-ядерные соединения); перилена, бенз(а)пирена (5-ядерные соединения); бенз(ghi)перилена (6-ядерный).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 9.0.

Картографические работы выполнены в программах QGIS, Surfer. Построение карт содержания и запасов полиаренов в почвах проводилось методом ординарного крикинга. При переводе значений концентраций полиаренов в почвах в запасы в слоях разной мощности, плотность почв принималась равной 1,3 г/см³ согласно [Путеводитель ..., 2016].

Результаты и обсуждение. Сравнение запасов ПАУ в слое 0–25 см почв полей и лесополос свидетельствует о незначительном, но вполне четко выраженном их превышении в почвах лесополос (от 1,50 до 7,02 мкг/м² в слое) над почвами полей – 0,23–1,70 мкг/м² в слое (табл. 1). Эта тенденция наблюдается как для легких, так и для тяжелых ПАУ и может быть следствием, по крайней мере, двух явлений. Во-первых, лесополосы выступают физической преградой на пути воздушных потоков загрязняющих веществ, замедляют скорость их переноса и способствуют аккреции поллютантов лесопосадками, а затем – попаданию в почвы. Во-вторых, изменение почвенных свойств под лесными насаждениями влияет на устойчивость полиаренов в почвах, формируя специфические условия для их аккумуляции и выноса, отличающиеся от условий на прилегающих пахотных землях. Из-за отсутствия распашки и периодического техногенного турбирования почв лесополос в них по сравнению с почвами полей ухудшается аэрация, усиливаются признаки гидроморфизма, ослабляется подверженность полиаренов фотодеструкции, что затормаживает процессы преобразования и разложения ПАУ.

В качестве количественного показателя интенсивности трансформации ПАУ в почвах пашен и лесополос были рассчитаны отношения в них антрацена к фенантрону (А/Ф) и бенз(а)пирена к пирену (БП/П). В выбранных парах антрацен и бенз(а)пирен обладают меньшей устойчивостью, чем, соответственно, фенантрен и пирен, поэтому, чем интенсивнее протекают процессы трансформации, тем меньше должны быть значения указанных отношений [Геохимия ..., 1996]. Средние значения отношений запасов А/Ф и БП/П в слое 0–25 см почв лесополос составили 0,013 и 0,14; в пахотном слое 0–25 см почв полей оказались равны 0,012 и 0,05, соответственно. Таким образом, полученный результат в виде тенденции свидетельствует о менее благоприятных условиях для деградации полиаренов в почвах лесополос по сравнению с почвами пашен.

Содержание суммы ПАУ в пахотном горизонте (0–25 см) почв полей очень низкое, среднее значение не превышает 36 нг/г (табл. 2). В почвах идентифицированы все соединения за исключением перилена. Преобладающими являются 2–3-ядерные ПАУ (их суммарная доля может достигать 98%), представленные, в основном, фенантреном и гомологами нафталина. На долю тяжелых полиаренов (5–6-ядерных) приходится менее 7%. Вниз по почвенному профилю может происходить изменение состава полиаренов: увеличение доли гомологов нафталина на фоне сокращения доли фенантрена, и, наоборот, увеличение доли фенантрена на фоне

Таблица 1

Запасы ПАУ в слое почвы 0–25 см

№ лесополосы	Количество точек	Удаленность от железной дороги, км*	Средние значения запасов ПАУ мкг/м ² в слое почвы 0–25 см					
			Количество ядер в ПАУ				Сумма ПАУ	
			2	3	4	5–6		
Почвы лесополос								
I	2	1,2	0,41	0,96	0,74	0,21	2,32	
II	5	2	0,19	1,87	0,63	0,10	2,86	
III	1	2,5	0,62	4,99	1,13	0,04	7,02	
IV	3	3,3	0,23	0,59	0,59	0,04	1,50	
V	1	4,3	0,82	0,52	0,49	0,04	2,81	
VI	4	5	0,46	4,20	0,89	0,03	5,46	
Почвы полей								
1	6	1	0,47	0,41	0,12	0,03	1,02	
2	6	1	0,59	0,70	0,17	0,00	1,23	
3	5	2,5	0,52	1,41	0,06	0,00	1,70	
4	5	2,5	0,24	0,43	0,08	0,00	0,81	
5	5	4	0,10	0,07	0,07	0,00	0,23	
6	2	4	0,81	0,97	0,14	0,00	1,12	
7	3	5	0,26	0,32	0,11	0,00	0,68	

Примечание: *удаленность принималась равной наименьшему расстоянию между центром поля/лесополосы и железной дорогой.

Таблица 2

Средние, медианные, минимальные и максимальные содержания суммы ПАУ в почвах лесополос и полей на разных глубинах

Показатель	Сумма ПАУ в почвах, нг/г					
	Почвы лесополос				Почвы полей	
	0–5	5–10	10–25	25–50	0–25	25–50
Глубины, см	0–5	5–10	10–25	25–50	0–25	25–50
Среднее	256	144	45	23	36	31
Медиана	206	73	26	10	32	29
Min	65	48	14	8	2	2
Max	695	638	131	73	122	69

сокращения доли гомологов нафталина, но при общей высокой суммарной доле этих соединений от суммы ПАУ. Доля тяжелых ПАУ в нижней части почв полей оказывается менее 0,5%. Суммарное содержание полиаренов в подпахотном горизонте (25–50 см) слабо отличается от такового в вышележащем пахотном (см. табл. 2). Такая однородность горизонтов может объясняться периодической более глубокой вспашкой полей и, в целом, низким поступлением полиаренов в почвы.

В почвах под лесополосами суммарное содержание исследуемых полиаренов в верхних 5 см гумусового горизонта находится в диапазоне от 65 до 695 нг/г (см. табл. 2). Столь высокие концентрации ПАУ в самой верхней части почв обусловлены отсутствием техногенного перемешивания (пахоты) почвенного слоя 0–25 см. Среди полиаренов в почвах лесополос идентифицированы все исследуемые соединения. Преобладающими являются 3–4-ядерные ПАУ, среди которых доминирует фенантрен (до 80%

от суммы ПАУ) и хризен (до 30% от суммы ПАУ). На долю 5-ядерных соединений приходится до 10% от суммы всех ПАУ. Вниз по почвенному профилю до глубины 50 см происходит изменение состава полиаренов: увеличивается доля 2-ядерных ПАУ (вплоть до 80%) и уменьшается доля остальных соединений. Изменение состава ПАУ наблюдается на фоне общего уменьшения суммарного содержания полиаренов (см. табл. 2), как средних, медианных, так и минимальных и максимальных значений. В целом, исследованные почвы лесополос характеризуются повышенными содержаниями ПАУ относительно фоновых территорий [Пиковский и др., 2019].

Радиальное распределение суммарных запасов ПАУ в толще 0–25 см почв лесополос носит, преимущественно, поверхностно-аккумулятивный характер: встречаемость такого типа распределения на удалении до 2,5 км от железной дороги составляет 100%, на удалении от 3 до 5 км – 33% (преобла-

дающим в этом случае является равномерный тип радиального распределения). Это говорит о том, что отсутствие ежегодного перемешивания почвенной массы в течение последних 65 лет (возраст лесополос, высаженных на пахотных землях) достаточно для формирования аккумулятивного типа распределения полиаренов в верхних 25 см почвы на удалении до 2,5 км от основного источника загрязнения.

По мере удаления почв от железной дороги происходит уменьшение запасов 5–6 и некоторых 4–3-ядерных ПАУ как в почвах пашен, так и в почвах лесополос (см. табл. 1). Наиболее наглядно это на-

блюдается для бенз(а)пирена и бенз(ghi)перилена (рис. 2 Д, Е), т. е. с увеличением дистанции происходит изменение качественного состава ПАУ – уменьшение доли перечисленных выше полиаренов на фоне увеличения других соединений (в разных случаях это могут быть фенантрен, гомологи нафталина и др.). Не наблюдается корреляционная связь между содержанием фенантрена, гомологов нафталина – преобладающих полиаренов – в исследуемых почвах и удаленностью от железной дороги (см. рис. 2 Б, В). Происхождение повышенных запасов суммы ПАУ и ряда индивидуальных соеди-

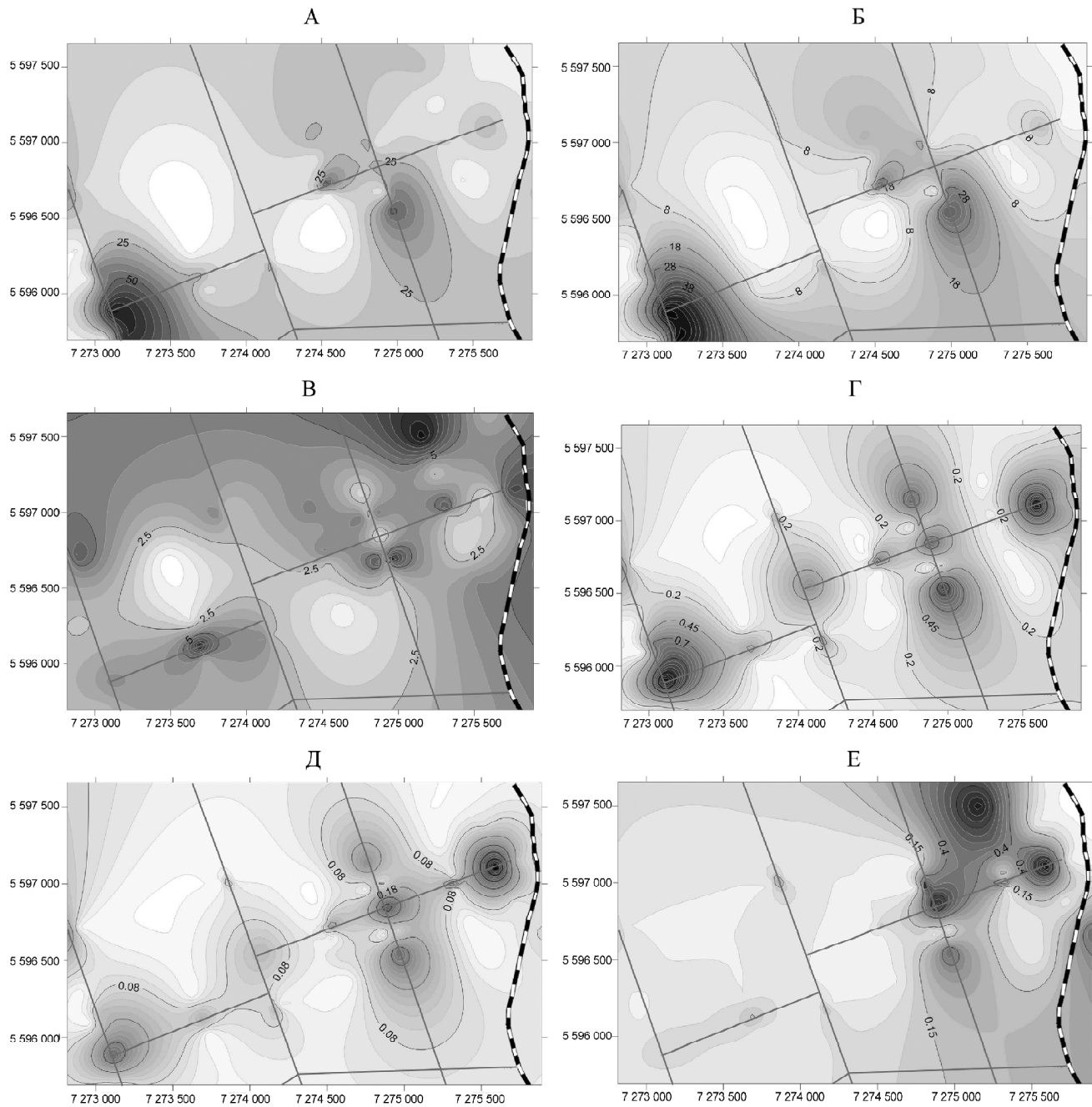


Рис.2. Запасы ПАУ мкг/м² в слое почвы 0–25 см (А – сумма ПАУ, Б – фенантрен, В – гомологи нафталина, Г – тетрафен, Д – бенза(а)пирен, Е – бенз(ghi)перилен)

Fig. 2. PAH storage mg/m² in the 0–25 cm soil layer (A – the PAHs summ, Б – phenanthrene, В – homologues of naphthalene, Г – tetrafen, Д – benzo(a)pyrene, Е – benzo(ghi)perylene)

нений (тетрафена, фенантрена) в наиболее удаленной от железной дороги лесополосе в юго-западной части ключевого участка (см. рис. 2 А, Б, Г) требует дополнительного исследования.

Для выявления задерживающей роли лесополос в поступлении полиаренов в почвы полей, проведено сопоставление запасов ПАУ в слое 0–25 см почв осевых частей лесополос и обрамляющих их почв полей, расположенных на расстоянии 30 м по обе стороны от лесополос (табл. 3, рис. 1 Б). Практически во всех «тройках» суммарный запас 4 и 5–6-ядерных ПАУ в слое 0–25 см почв лесополос оказался выше, чем в почвах прилегающих полей. Исключение составляют точки П13 (приурочена к полю), и точка Л16 (расположена в 30 м от П13 в лесополосе) – здесь запас 4 и 5–6-ядерных ПАУ в слое 0–25 см почв поля превышает таковой в лесополосе. Сравнение запасов тетрафена, антрацена, бенз(а)пирена и бенз(ghi)перилена в парах П12 и П14, П13 и П15, П22 и П24, П23 и П25, расположенных друг от друга на расстоянии 60 м и разделенных лесополосой, показывает, что запас этих индивидуальных соединений в почвах пашен, расположенных ближе к железной дороге (точки П12, П13, П22, П23), всегда выше или равен запасу ПАУ в почвах пашен, расположенных дальше от железной дороги и за лесополосой (точки П14, П15, П24, П25). Отмеченные тенденции не характерны для 2–3-ядерных ПАУ; зависимость содержания низкомолекулярных полиаренов в почвах пашен от их положения относительно

лесополосы и железной дороги (перед/за) не обнаружена.

Выводы:

– почвы лесополос характеризуются более высокими запасами ПАУ в слое 0–25 см по сравнению с почвами прилегающих пашен, что может свидетельствовать как о барьерном эффекте лесонасаждений по отношению к воздушным потокам поллютантов, так и о более низких темпах разрушения полиаренов в почвах лесополос;

– отсутствие ежегодного перемешивания почвенной массы в течение 65 лет (возраста лесополос, высаженных на пахотных землях) достаточно для формирования поверхностно-аккумулятивного типа распределения полиаренов в верхних 25 см почвы на удалении до 2,5 км от основного источника загрязнения (железной дороги);

– при увеличении расстояния от железной дороги наиболее заметно происходит уменьшение запасов бенз(а)пирена и бенз(ghi)перилена как в почвах пашни, так и в почвах лесополос; для других ПАУ не обнаружено существенной связи их концентраций с удаленностью от линейного источника поллютантов;

– данные о запасах ПАУ в почвах на расстоянии 30 м по обе стороны от лесополос и в их осевых частях свидетельствуют о накоплении в почвах лесополос хризена, пирена, антрацена, тетрафена, бенз(а)пирена, бенз(ghi)перилена; в 80% случаев запасы выше в почвах участков пашни, расположенных ближе к железной дороге.

Таблица 3

Запасы индивидуальных ПАУ и их суммы в почвах лесополос и прилегающих полей в слое 0–25 см

Образец		Запасы ПАУ, мкг/м ² в слое 0–25 см											Сумма
Номер поля/лесополосы	Точка отбора	Флуорен	Дифенил	Гомологи нафталина	Фенантрен	Хризен	Пирен	Антрацен	Тетрафен	Бенз(а)пирен	Бенз(ghi)перилен	Перилен	
Поле 1	П8	0,0	0,0	6,6	4,9	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2
Лесополоса I	Л2	0,0	2,0	4,4	5,5	4,1	2,3	0,0	0,3	0,9	1,8	0,0	22,5
Поле 2	П9	6,6	6,6	2,4	0,1	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4
Поле 1	П12	0,0	0,0	5,2	2,2	1,0	0,9	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	10,0
Лесополоса II	Л4	0,2	0,6	1,3	25,4	2,2	1,5	0,0	0,6	0,2	0,9	0,0	34,4
Поле 3	П14	0,0	0,0	5,2	14,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5
Поле 2	П13	0,0	0,0	7,8	29,3	1,0	1,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	39,8
Лесополоса II	Л6	0,4	1,7	2,3	2,7	1,7	1,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	13,2
Поле 4	П15	0,0	0,0	6,9	5,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2
Поле 3	П18	5,9	5,9	4,5	11,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,8
Лесополоса III	Л8	0,0	1,7	4,4	49,3	6,3	3,8	0,6	1,1	0,3	0,1	0,0	72,0
Поле 4	П19	0,0	0,0	2,4	5,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1
Поле 3	П22	0,0	0,0	2,5	8,8	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3
Лесополоса IV	Л9	0,1	0,0	2,3	4,9	3,2	2,2	0,0	0,7	0,2	0,4	0,0	15,0
Поле 5	П24	0,0	0,0	4,6	3,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1
Поле 4	П23	0,0	0,0	2,5	4,3	1,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	8,1
Лесополоса IV	Л11	0,1	0,0	2,3	21,0	2,5	2,5	1,2	0,9	0,2	0,2	0,0	32,8
Поле 6	П25	4,8	4,8	4,6	6,5	1,5	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	18,9

Благодарности. Исследования проведены за счет Российского научного фонда – проект РНФ № 19-17-00056.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ахтырцев Б.П., Соловиченко В.Д. Почвенный покров Белгородской области: структура, районирование и рациональное использование. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1984. 267 с.

Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1195–1209.

Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / Под ред. А.Н. Геннадиева, Ю.И. Пиковского. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 188 с.

Заздравных Е.А. Пространственно-временные особенности трансформации пахотных почв лесостепи на юге Среднерусской возвышенности: дис. ... канд. геогр. наук. Белгород: НИУ «БелГУ», 2017. 200 с.

Павлов В.Е., Уздин М.М. История железнодорожного транспорта России и Советского Союза. СПб.: Иван Федоров, 1997. 416 с.

Пиковский Ю.И., Коротков Л.А., Смирнова М.А., Ковач Р.Г. Лабораторно-аналитические методы при определении углеводородного состояния почв (обзор) // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1165–1178.

Пиковский Ю.И., Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. и др. Параметры нативного углеводородного состояния почв различных биоклиматических зон // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1307–1321.

Путеводитель научных полевых экскурсий VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием научной конференции «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» (Бел-

город, 15–22 августа 2016 г.) / Под ред. Ю.Г. Чендева. Москва–Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2016. 122 с.

Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, диагностическое значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–802.

Andersen M.H.G., Frederiksen M., Saber A.T. et al. Health effects of exposure to diesel exhausting diesel-powered trains. *Particle and Fibre Toxicology*, 2019, vol. 16, no. 21.

Beckett K.P., Freer-Smith P.H., Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 1998, vol. 99, no. 3, p. 347–360.

Duran A., Lucas A., Carmona M., Ballesteros R. Simulation of atmospheric PAH emissions from diesel engines. *Chemosphere*, 2001, vol. 44, p. 921–924.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2006, vol. 4, p. 115–123.

Onyewotu L.O.Z., Stigter C.J., Oladipo E.O., Owonubi J.J. Air movement and its consequences around a multiple shelterbelt system under advective conditions in semi-arid Northern Nigeria. *Theor. Appl. Climatol*, 2004, vol. 79, p. 255–262.

Wilcke W. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma*, 2007, vol. 141, p. 157–166.

Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 2000, vol. 163, p. 229–248.

Zhang X.X., Gu R.Z., Chen Z.X. Dust removal by green areas in the residential quarters of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 1997, vol. 19, no. 4, p. 12–17.

Поступила в редакцию 12.11.2019

После доработки 20.12.2019

Принята к публикации 20.12.2019

М.А. Smirnova¹, А.Н. Gennadiev²,
Yu. G. Chendev³

INFLUENCE OF SHELTERBELTS ON THE ACCUMULATION OF POLYARENES IN SOILS (BELGOROD REGION)

Specific features of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs, polyarenes) accumulation in the soils of shelterbelts and adjacent agricultural fields were determined. The key site in the Belgorod Region (1500 ha) is an arable land with an extensive network of forest belts oriented both along and across the main source of pollution, i.e. the railway. On the basis of 49 soil sampling points it was shown that the soils of shelterbelts are characterized by higher polyarenes storage in 0–25 cm layer (1,50 to 7,02 mg/m²) for both light and heavy PAHs as compared to soils of adjacent arable lands (0,23 to 1,70 mg/m²). This phenomenon is due to the barrier effect of trees in relation to pollutant airflows and lower rates of polyarene destruction in the soils of shelterbelts. With increasing distance of soils from the source of polyarenes, the most noticeable decrease is in benzo (a) pyrene and benzo (ghi) perylene storage. In the absence of cultivation 65 years is enough to form a surface-accumulative type of PAHs distribution in the upper 25 cm of shelterbelt soils at a distance of up to 2,5 km from the railway.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, benz(a)pyrene, pollution, agroforestry, chernozems

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 19-17-00056).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* summerija@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* alexagenna@mail.ru

³ Belgorod State University, Institute of Earth Sciences, Department of Nature Management and Land Cadastre, Head of department, D.Sc. in Geography; *e-mail:* chendev@bsu.edu.ru

REFERENCES

- Ahtyrcev B.P., Solovichenko V.D. Pochvennyj pokrov Belgorodskoj oblasti: struktura, rajonirovanie i racional'noe ispol'zovanie [Soil cover of the Belgorod region: structure, zoning and rational use]. Voronezh, Voronezh University Press, 1984, 267 p. (In Russian)
- Andersen M.H.G., Frederiksen M., Saber A.T. et al. Health effects of exposure to diesel exhaust in diesel-powered trains. *Particle and Fibre Toxicology*, 2019, vol. 16, no. 21.
- Beckett K.P., Freer-Smith P.H., Taylor G. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 1998, vol. 99, no. 3, p. 347–360.
- Duran A., Lucas A., Carmona M., Ballesteros R. Simulation of atmospheric PAH emissions from diesel engines. *Chemosphere*, 2001, vol. 44, p. 921–924.
- Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I., Smirnova M.A., Tsibart A.S. Hydrocarbons in soils: Origin, composition, and behavior (review). *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 10, p. 1195–1209.
- Geohimiya policiklicheskih aromaticscheskih uglevodorodov v gornyh porodah i pochvah [Geochemistry of polycyclic aromatic hydrocarbons in rocks and soils] Ed. Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I. Moscow, Moscow University Press, 1996, 188 p. (In Russian)
- Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2006, vol. 4, p. 115–123.
- Onyewotu L.O.Z., Stigter C.J., Oladipo E.O., Owonubi J.J. Air movement and its consequences around a multiple shelterbelt system under advective conditions in semi-arid Northern Nigeria. *Theor. Appl. Climatol*, 2004, vol. 79, p. 255–262.
- Pavlov V.E., Uzdin M.M. Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii i Sovetskogo Soyuza [The history of railway transport in Russia and the Soviet Union]. St. Petersburg, Ivan Fedorov Publ., 1997, 416 p. (In Russian)
- Pikovskii Yu.I., Korotkov L.A., Smirnova M.A., Kovach R.G. Laboratory analytical methods for the determination of the hydrocarbon status of soils (a review). *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, no. 10, p. 1125–1137.
- Pikovskii Yu.I., Smirnova M.A., Gennadiev A.N. et al. Parameters of the native hydrocarbon status of soils in different bioclimatic zones. *Eurasian Soil Science*, 2019, vol. 52, no. 11, p. 1333–1346.
- Putevoditel' nauchnyh polevyh ekskursij VII s'ezda Obschestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossijskoj s zarubezhnym uchastiem nauchnoj konferentsii «Pochvovedenie – prodovol'stvennoj i ekologicheskoj bezopasnosti strany» [Guide to scientific field trips of the VII Congress of the Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev and the All-Russian scientific conference (with foreign participation) «Soil Science for Food and Environmental Security» (Belgorod, August 15–22, 2016)]. Moscow–Belgorod, «Belgorod» Publ., Research University «BelGU», 2016, 122 p. (In Russian)
- Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: Sources, behavior, and indication significance (a review). *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, no. 7, p. 728–741.
- Wilcke W. Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma*, 2007, vol. 141, p. 157–166.
- Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil – a review. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 2000, vol. 163, p. 229–248.
- Zazdravnyh E.A. Prostranstvenno-vremennye osobennosti transformacii pahotnyh pochv lesostepi na yuge Srednerusskoj vozvyshehnosti [Spatial-temporal features of the transformation of forest-steppe arable soils in the south of the Central Russian Upland]: PhD Thesis. Belgorod, Research University «BelGU», 2017, 200 p. (In Russian)
- Zhang X.X., Gu R.Z., Chen Z.X. Dust removal by green areas in the residential quarters of Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 1997, vol. 19, no. 4, p. 12–17.

Received 12.11.2019

Revised 20.12.2019

Accepted 20.12.2019