

Часть 3.

Проблемы рационального природопользования в геосистемах разных типов, в том числе - в приморских, трансграничных, арктических

УДК 631.41

DOI: 10.35735/9785605278788_220

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ДОН

Барбашев А.И., Дудникова Т.С., Сушкова С.Н.,
Шуваев Е.Г., Немцева А.А., Попов В.Р.,
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. На примере пойменных ландшафтов дельты реки Дон изучены особенности накопления и пространственного распределения ПАУ в гидроморфных почвах. Показано, что изменения концентрации поллютантов в почвах зависят от типа и интенсивности источника эмиссии. Наиболее загрязненные участки расположены по линии транзита танкеров дальнего следования, где содержание наиболее опасных высокомолекулярных соединений составляет ПАУ 8862 нг/г. Состав приоритетных ПАУ представлен преимущественно наиболее опасными высокомолекулярными ПАУ, среди которых доминируют пирен, бенз(а)пирен, бенз(г,х,и)перилен и бенз(б)флуорантен.

Ключевые слова: Полициклические ароматические углеводороды, пойменные почвы, ландшафт дельты реки, миграция ПАУ, источники ПАУ

PECULIARITIES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SOILS OF THE DON RIVER DELTA

Barbashev A.I., Dudnikova T.S., Sushkova S.N., Shuvaev E.G., Nemtseva A.A., Popov V.R.
Southern Federal University

Abstract. The features of PAH accumulation and spatial distribution in hydromorphic soils were studied on the example of floodplain landscapes of the Don River delta. It has been shown that changes in the concentration of pollutants in soils depend on the type and intensity of the emission source. The most polluted areas are located along the transit line of long-distance tankers, where the content of the most hazardous high molecular weight compounds is 8862 ng/g PAHs. The composition of priority PAHs is represented mainly by the most hazardous high molecular weight PAHs, among which pyrene, benz(a)pyrene, benz(g,h,i)perylene and benz(b)fluoranthene dominate.

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons, floodplain soils, river delta landscape, migration of PAHs, sources of PAHs

Введение. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) - класс широко распространённых поллютантов, массовое накопление которых в природных ландшафтах связано с несовершенством технологий добычи, переработки и эксплуатации топлива, а также с пожарами [12]. Соединения группы ПАУ вследствие устойчивости в компонентах ландшафта, способности к биоаккумуляции, высокой токсичности, потенциального мутагенного, тератогенного и канцерогенного действия на живые организмы относят к группе стойких органических загрязнителей [3, 4]. В практике международного регулирования контролю и нормированию подлежат 16 приоритетных соединений ПАУ [13]. Основной структурообразующей единицей в составе ПАУ является бензольное кольцо. Условно, вещества данного класса соединений подразделяются в зависимости от количества бензольных колец на низкомолекулярные - 2-х, 3-х кольчатые ПАУ и высокомолекулярные -

4-х, 5-ти и 6-и кольчатые ПАУ. С увеличением числа бензольных колец в структуре ПАУ возрастает их гидрофобность, персистентность и токсичность [3, 4, 9].

При исследовании загрязнения почв ПАУ особенного внимания заслуживают почвы гидроморфного ряда. Изучению пойменных почв и аквальных ландшафтов на предмет загрязнения ПАУ в настоящее время посвящено лишь небольшое количество исследований. К тому же, особенностью таких ландшафтов является высокая вероятность миграции опасных химических загрязнителей, в том числе ПАУ. Так как ПАУ аккумулируется в основном в органогенных горизонтах [5], в результате паводководковых, приливно-отливных явлений, разрушения береговой линии водоемов может происходить перенос поллютантов преимущественно в составе конгломератов посредством тока воды [14]. Вследствие высокой динамичности и гетерогенности систем почв пойменных ландшафтов, существует опасность миграции поллютантов от источников эмиссии вдоль береговой линии. Поэтому цель данной работы состояла в определении особенностей пространственного распределения ПАУ в пойменных ландшафтах на примере дельты реки Дон.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выступали гидроморфные почвы Дельты реки Дон. Для целей исследования на территории Дельты заложено 29 площадок мониторинга, проведен отбор проб почвы на глубину 0-20 см согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 [2]. В почвенном покрове дельты р. Дон преобладают аллювиальные почвы (Fluvisol), сформированные на речных и морских отложениях.

В ходе исследования определено 15 представителей ПАУ, входящих в список приоритетных поллютантов агентства по охране окружающей среды США (US EPA, 2020) Экстракция ПАУ из образцов почвы проведена гексаном. Предварительно мешающая липидная фракция была удалена путем омыления 1 г почвы 2-% спиртовым раствором КОН. Количественно определяли ПАУ в экстракте методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260 [8].

Результаты и их обсуждение. Свойства почв обладают сильной вариативностью с $CV > 40\%$ (за исключением pH) (табл. 1), что является следствием особенностей их генезиса – переотложением речных и морских наносов. Способствует этому пульсирующий водный режим дельты, характеризующийся колебаниями среднесуточного уровня воды до 50 см, а среднегодового – до нескольких метров [6].

Таблица 1.

Физические и химические свойства почв

Описательная статистика	pH	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	CaCO ₃	Гумус	Физическая глина	
					<0.001	<0.01
		смоль(+)/кг	%			
Среднее	7,8	15,2	1,6	1,1	10,3	22,8
Медиана	7,8	15,8	0,9	1,0	10,9	23,4
Минимум	7,3	5,2	0,2	0,1	0,1	1,3
Максимум	8,9	29,1	8,3	3,9	22,8	54,6
Стандартное отклонение	0,4	6,7	1,7	0,8	6,1	11,9
Коэффициент вариации (CV), %	4,9	43,6	107,7	71,5	59,5	51,9

Наименьшей вариативностью в исследуемых Fluvisol характеризуется pH ($CV < 5\%$). Тем не менее, значение pH изменяется в пределах от слабо до сильнощелочных. Наибольшее значение CV (более 100%) характерно содержанию CaCO₃ в почвах, что согласно исследованиям Alekseenko et al. для почв дельты р. Дон связано с особенностями мезорельефа (таблица 1) [1]. Гранулометрический состав почв исследуемой территории неоднородный. Внутри дельты условно можно выделить три зоны по гранулометрическому составу почв площадок мониторинга: 1) представлены преимущественно средними и

тяжелыми суглинками; 2) в основном состоит из песков и супесей; 3) характеризуются легким гранулометрическим составом.

Установлено, что ПАУ в почвах дельты реки Дон представлены преимущественно высоко молекулярными соединениями (рис. 1). В целом, по содержанию поллютантов выделяется следующий убывающий ряд 5-ти кольчатые > 4-х кольчатые > 6-ти кольчатые > 3-х кольчатые > 2-х кольчатые (рис. 1). Среди них преобладают пирен, бенз(а)пирен, бенз(g,h,i)перилен и бенз(b)флуорантен, медианное содержание в почве которых соответствует 203 нг/г, 191 нг/г, 148 нг/г и 134 нг/г (рис. 1).

В почвах площадок мониторинга, расположенных в южной части содержание ПАУ выше, чем в северной и центральной части дельты. Во-первых, данное обстоятельство обусловлено большей техногенной нагрузкой на почвы южной части дельты со стороны судоходного канала, а также порта и промышленных зон г. Азова. Во-вторых, активное накопление поллютантов, по всей вероятности, происходит за счет более высокого содержания илстой фракции в почвах южной части по сравнению с северной и центральной. Вопреки ожиданиям не наблюдается существенного привноса ПАУ со стороны г. Ростов-на-Дону. Содержание поллютантов в почвах исследуемой территории многократно превышает их количество в фоновых почвах различных биоклиматических зон России [7, 10]. Накопление ПАУ в почвах северной части дельты реки Дон близко к концентрациям поллютантов в импактной зоне крупного энергогенерирующего предприятия Ростовской области [11]. Наиболее загрязненный участок дельты приурочен к почве площадки мониторинга 96, расположенной на внутри дельтовом острове вблизи п. Донской. Здесь содержание 4-х, 5-ти и 6-ти кольчатых соответствовало 3271 нг/г, 4438 нг/г и 1153 нг/г, что в совокупности для высокомолекулярных соединений составило 8862 нг/г.

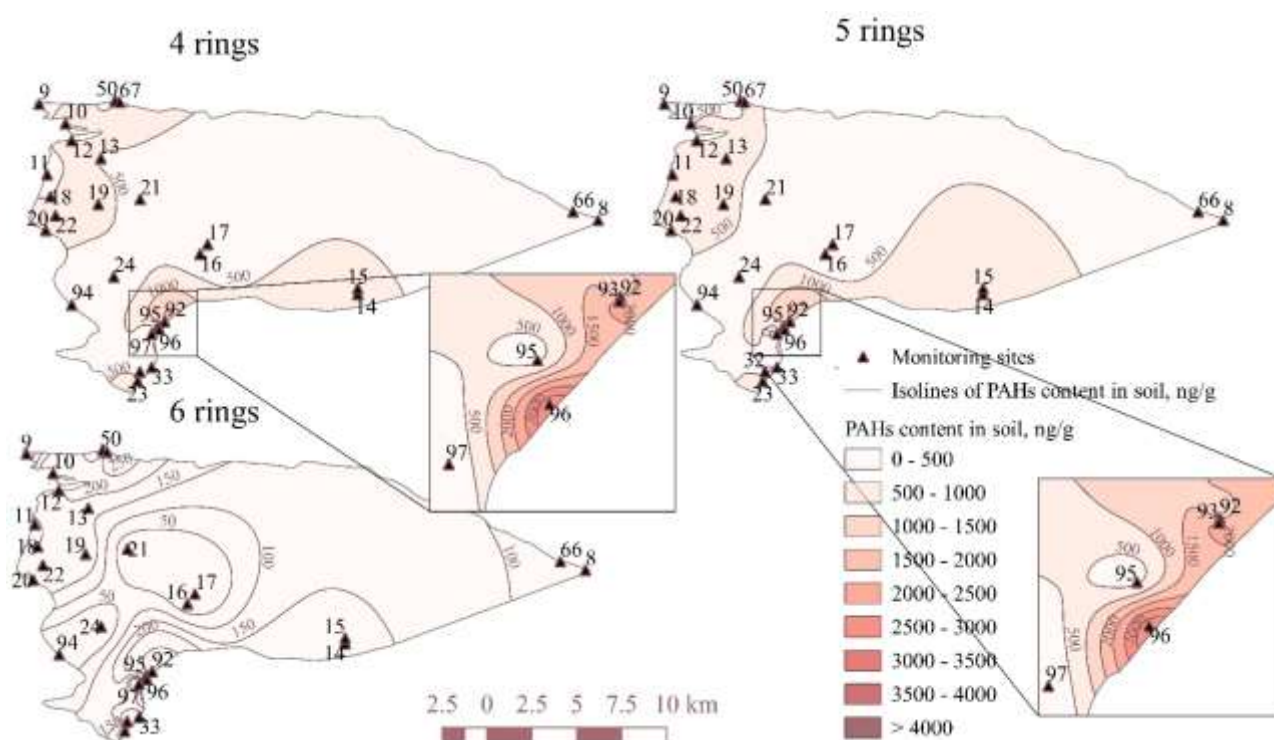


Рис. 1. Пространственное распределение высокомолекулярных ПАУ в почвах дельты реки Дон

Выводы.

Таким образом, проведено исследование содержания 15 приоритетных ПАУ в гидроморфных почвах дельты реки Дон. Состав приоритетных ПАУ представлен преимущественно наиболее опасными высокомолекулярными ПАУ, среди которых доминируют пирен, бенз(а)пирен, бенз(g,h,i)перилен и бенз(b)флуорантен, их медианное

содержание соответствует 203 нг/г, 191 нг/г, 148 нг/г и 134 нг/г. При этом наибольшее содержание приоритетных ПАУ отмечено в почвах, расположенных в южной части дельты реки Дон, вблизи судоходного канала многотонажных танкеров дальнего следования.

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение No 075-15-2023-587, а также при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030").

Литература

1. Алексеенко В. А., Минкина Т. М., Швыдкая Н. В., Невидомская Д. Г. Почвы геохимических ландшафтов Нижнего Дона и их экологическая характеристика // Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. – 2018. – Т. 158.
2. ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. – Взамен ГОСТ 17.4.4.02–84; введ. 2019–01–01. М.: Стандартинформ, 2018. – 9 с.
3. Abdel-Shafy H.I., Mansour M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation // Egyptian Journal of Petroleum. 2016. V. 25. №. 1. P. 107-123.
4. ATSDR. Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons / Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, 1995. - 487 p.
5. Beznosikov V. A., Gabov D. N. PaH contamination of taiga ecosystems in the Republic of Komi // Lesovedenie. 2017. №. 3. P. 212-220.
6. Dolgoplova E. N., Isupova M. V. Classification of estuaries by hydrodynamic processes // Water resources. 2010. V. 37. P. 268-284.
7. Gennadiev A. N., Pikovskii Y. I. The maps of soil tolerance toward pollution with oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons: methodological aspects // Eurasian Soil Science. – 2007. – V. 40. – P. 70-81.
8. ISO 13877-2005, 2005. Soil Quality — Determination of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons — Method Using High-performance Liquid Chromatography.
9. Lawal A. T. Polycyclic aromatic hydrocarbons. A review // Cogent Environmental Science. – 2017. – V. 3. – №. 1. – P. 1339841.
10. Pikovskii Y. I., Smirnova M. A., Gennadiev A. N., Zavgorodnyaya Y. A., Zhidkin A. P., Kovach R. G., Koshovskii T. S. Parameters of the native hydrocarbon status of soils in different bioclimatic zones // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. P. 1333-1346.
11. Sushkova S., Minkina T., Turina I., Mandzhieva S., Bauer T., Kizilkaya R., Zamulina I. Monitoring of benzo[a]pyrene content in soils under the effect of long-term technogenic pollution // Journal of geochemical exploration. 2017. V. 174. P. 100-106.
12. Tsibart A. S., Gennadiev A. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review) // Eurasian Soil Science. 2013. V. 46. №. 7. P. 728-741.
13. US EPA (US Environmental Protection Agency). Integrated Risk Information System (IRIS). - Washington, DC: Office of Research and Development, 2020. URL: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/AtoZ.cfm. (accessed March 20, 2020).
14. Zhang Z. L., Hong H. S., Zhou J. L., Yu G. Phase association of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Minjiang River Estuary, China // Science of the Total Environment. 2004. V. 323. №. 1-3. P. 71-86.