

УДК 502.62

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА Г. ЭЛИСТА

<sup>1</sup>Горяшкиева З.В., <sup>1</sup>Щербакова Л.Ф., <sup>2</sup>Цомбуева Б.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет им. Ю.А. Гагарина»,  
Саратов, e-mail: goryashkievaz@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова»,  
Элиста, e-mail: bairacom@mail.ru

Дана оценка уровня химического загрязнения почв города Элиста. Определены концентрации 3,4-бенз(а)пирена, тяжелых металлов, содержание органического углерода и нефтепродуктов, солевой состав в почвах, отобранных с территорий автозаправочных станций, котельной и трассы. В ходе исследования было выявлено, что содержание бенз(а)пирена в поверхностном слое почвы автозаправочной станции и трассы не превышает ПДК. В почвенном покрове урбандолинов отмечается высокий уровень загрязнения соединениями меди и свинца. Наибольший уровень аккумуляции тяжелых металлов имеют почвы, испытывающие высокую техногенную нагрузку (почвы автозаправочных станций и вблизи котельной). Содержание нефтепродуктов и органического углерода увеличивается по мере приближения к источнику загрязнения в 2 раза. Исследуемые почвы города характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым типом засоления.

**Ключевые слова:** бенз(а)пирен, нефтепродукты, органический углерод, тяжелые металлы, техногенное загрязнение, почвенный покров, полициклические ароматические углеводороды

## ASSESSMENT OF POLLUTION OF SOIL ELISTA

<sup>1</sup>Goryashkieva Z.V., <sup>1</sup>Scherbakova L.F., <sup>2</sup>Tsombueva B.V.

<sup>1</sup>Saratov State Technical University named Yu.A. Gagarina, Saratov, e-mail: goryashkievaz@mail.ru;

<sup>2</sup>Kalmyk State University named B.B. Gorodovikov, Elista, e-mail: bairacom@mail.ru

Research work shows the level of chemical contamination of soil in Elista. The samples of the soil were collected from gas stations territory, boiler room and the track. The soil was tested to define the concentration of 3,4-benzo(a)pyrene, heavy metals, organic carbon content and salt composition. The fact that the concentration of benz(a)pyrene in the surface layer of soil in the gas station territory and near the track doesn't exceed the permissible concentration (MPC) was revealed during the study. High level of concentration by compound of copper and lead is marked in the soil cover of urban landscape. The highest level of heavy metals accumulation has the soil with high anthropogenic impact (gas stations soil and the soil near boiler room). The oil and organic carbon in the soil is doubled as it get closer to the source of pollution. The soil in Elista has sulfate-sodium-chloride type of salinity.

**Keywords:** benzo(a)pyrene, oil, organic carbon, heavy metals, industrial pollution, soil cover, polycyclic aromatic hydrocarbons

В городской среде почвы формируются в условиях больших антропогенных нагрузок, поэтому почвенный покров города значительно отличается от природных. Вследствие загрязнения почв промышленными производственными отходами, строительными материалами и бытовым мусором в городской среде происходит ухудшение водного и воздушного режима почв.

Среди неорганических загрязнений почвенного покрова наибольшую опасность представляют тяжелые металлы. Многие тяжелые металлы способны менять валентность и принимать участие в окислительно-восстановительных процессах. В настоящее время внимание к токсикантам экологического происхождения резко увеличилось вследствие способности металлов накапливаться в организме.

Среди органических загрязнителей почвенного покрова особое место занимают полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). ПАУ являются опасными токсикантами, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. Основными источниками поступления ПАУ в городской почвенный покров являются все процессы термической обработки сырья, продукты горения печей и выбросы выхлопных газов автомобильного транспорта [1].

На законодательном уровне в России узаконен контроль единственного представителя полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) 1 класса опасности – 3,4-бенз(а)пирена. Предельно допустимая концентрация бенз(а)пирена в почве – 20 мкг/кг.

**Цель данного исследования** – оценить состояние почвенного покрова урбанизированных территорий г. Элиста.

### Материалы и методы исследования

Объектами изучения были выбраны почвы г. Элиста, в местах расположения автозаправочных станций (АЗС), вдоль автомагистралей (трасс), почвы территорий, находящихся под воздействием промышлен-

ленных предприятий (котельная). В качестве фона были взяты образцы почв, отобранные в 100 м от источников загрязнения. Отбор проб на территории АЗС и трассы проводился на глубине 0–20 см и 20–30 см и на фоновых участках с поверхности (0–20 см) [2].

В зоне влияния котельной в соответствии с направлением господствующих ветров выделяли четыре участка, первый из которых непосредственно примыкал к периметру зоны (0–20 см и 20–30 см), второй отстоял от него на 100 м, третий на 200 м и четвертый – 300 м.

Исследования почвенных образцов и выбор пробных площадей для проведения полевых исследований осуществляли общепринятыми методиками. Количественное содержание подвижных форм и валовое содержание ТМ (Pb, Cu, Cd, Zn) в почвах определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Содержание органического углерода в образцах почвы определяли по ГОСТ 26213-91. Массовая доля нефтепродуктов в почве была измерена флуориметрическим методом по ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Для определения солевого состава почв применялся метод капиллярного электрофореза «Капель – 105 М Люмекс» по методикам [4, 5].

Бенз(а)пирен определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе «Люмахром» с флуориметрическим детектором [6]. Метод основан на извлечении 3,4-бенз(а)пирена хлористым метиленом из образцов почвы. Концентрированный экстракт подвергался очистке методом колоночной хроматографии с дальнейшим количественным определением методом ВЭЖХ.

### Результаты исследования и их обсуждение

Наибольшее количество опасных веществ, выбрасываемых на территорию города, накапливаются в верхних слоях почв, что приводит к изменению химических свойств субстрата. Исследования свойств почвы г. Элиста показали, что почвогрунты

по степени засоленности являются сильнозасоленными и по типу засоления сульфатно-хлоридно-натриевыми (табл. 1).

Анализ водной вытяжки почвы показал, что на территории АЗС происходит увеличение содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Наибольшее накопление отмечено для  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$  – увеличение концентрации по сравнению с фоновыми значениями в 7 и 7,5 раз соответственно. Увеличение содержания  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  на территории АЗС в 2,5–3 раза.

Результаты исследования солевого состава почвенного покрова вблизи трассы показали, что в почве накапливаются  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Увеличение содержания  $\text{Ca}^{2+}$  незначительное. Следует отметить, что содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  вблизи 20–30 см в 1,6–1,8 раза больше чем 0–20 см, объясняется смывом данных анионов осадком в нижележащие слои почв.

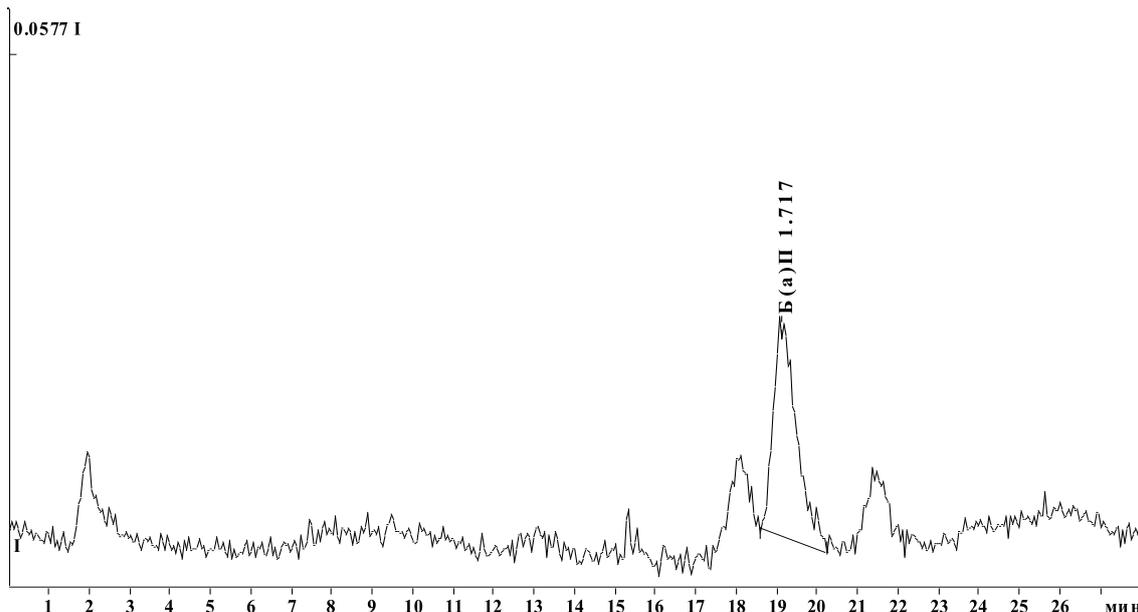
На территории вблизи котельной отмечено увеличение содержания  $\text{Na}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ . В почвенных образцах, взятых по розе ветров на расстоянии 100, 200 и 300 м, не происходит накопление солей.

Для определения оценки загрязнения территорий полициклическими ароматическими углеводородами были исследовано содержание в них бенз(а)пирена, являющегося маркером загрязнения почв ПАУ. Исследования показали, что на территории АЗС и в почвенном покрове вблизи трассы в поверхностном слое концентрация бенз(а)пирена минимальная. На территории котельной и по розе ветров бенз(а)пирен не обнаружен (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав водной вытяжки из почв исследуемых территорий

Почвенный профиль	мг*экв/кг						Тип засоления
	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
АЗС 0–20 см	35,00	6,19	153,60	115,00	25,00	27,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
АЗС 20–30 см	37,50	9,40	43,20	144,76	57,50	42,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
АЗС Фон	11,40	6,30	21,12	15,60	10,00	12,50	Cl-SO <sub>4</sub> -Na
Трасса 0–20 см	26,25	6,60	86,40	120,41	32,50	35,00	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Трасса 20–30 см	41,25	7,90	145,92	129,00	30,00	30,00	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Трасса Фон	14,00	7,50	15,00	190,00	20,00	5,00	Cl-SO <sub>4</sub> -Na
Котельная 0–20	46,25	7,30	108,80	117,60	22,50	30,00	Cl-SO <sub>4</sub> -Na
Котельная 20–30	40,00	8,60	235,20	135,11	17,50	7,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Котельная 100 м	31,80	6,90	52,80	38,90	12,50	17,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Котельная 200 м	37,50	7,40	43,20	35,60	10,00	15,00	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Котельная 300 м	39,30	6,80	45,12	29,90	15,00	7,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na
Котельная Фон	25,00	7,10	76,80	40,80	15,00	12,50	SO <sub>4</sub> -Cl-Na



Хроматограмма бенз(а)пирена на территории АЗС 0–20

**Таблица 2**  
Содержание бенз(а)пирена в почвенном покрове исследуемых территорий

Почвенный профиль	БП, мг/кг
АЗС 0–20 см	1,717
АЗС 20–30 см	1,390
АЗС Фон	н/о
Трасса 0–20 см	2,019
Трасса 20–30 см	н/о
Котельная 0–20	н/о
Котельная 20–30	н/о
Котельная Фон	н/о
Котельная 100 м	н/о
Котельная 200 м	н/о
Котельная 300 м	н/о
Трасса Фон	н/о

На рис. 2 представлена хроматограмма определения бенз(а)пирена в почве на территории АЗС в поверхностном слое на которой на 19 мин хорошо виден пик бенз(а)пирена (БП), среднее его содержание составляет 1,717 мг/кг, что значительно ниже предельно допустимой концентрации [7]. На фоновых территориях и в почвенном покрове вблизи котельной бенз(а)пирен не обнаружен. Полученные данные по содержанию бенз(а)пирена в почве свидетельствуют о загрязнении данным поллютантом вследствие работы двигателей автомобильного транспорта.

Распределение содержания БП в профиле почв на территории АЗС имеет поверхностный характер – в поверхностном слое почвы концентрация БП больше, чем на глубине 20–30 см. Поверхностный характер распределения БП свидетельствует о слабой миграционной способностью бенз(а)пирена по почвенному профилю, что подтверждается и литературными данными [3], в которых авторы утверждают, что в почвенном профиле, формирующемся в условиях интенсивной техногенной нагрузки, наблюдается резкая приповерхностная аккумуляция полициклических ароматических углеводородов.

Одним из показателей загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами является повышенное содержание органического углерода. Органический углерод представляет собой общее содержание сумм всех органических веществ, а именно гумуса, парафинов и других углеводородов.

В результате загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами (НП) происходит интенсивный рост общего содержания органического углерода. Деструкция НП и нефти приводит к увеличению концентрации органических веществ.

В ходе исследования было выявлено, что содержание органического углерода изменяется в пределах 0,36–3,66% а также увеличение идет непосредственно возле АЗС и трассы. Минимальные значения кон-

центрации органического углерода наблюдаются на фоновых территориях. Увеличение содержания органического углерода по сравнению с фоновыми значениями происходит за счет его техногенного внесения.

**Таблица 3**  
Содержание органического углерода и нефтепродуктов

Почвенный профиль	C <sub>орг</sub> , %	НП, мг/кг
АЗС 0–20 см	2,10	607,30
АЗС 20–30 см	1,05	309,50
АЗС Фон	0,36	24,65
Трасса 0–20 см	1,50	404,95
Трасса 20–30 см	1,08	175,80
Трасса Фон	0,87	68,05
Котельная 0–20	2,88	13,27
Котельная 20–30	1,20	111,90
Котельная Фон	0,87	86,90
Котельная 100 м	3,66	179,50
Котельная 200 м	1,71	230,26
Котельная 300 м	1,65	277,16

В почвенных образцах исследуемых территорий были определены содержания нефтепродуктов (НП), концентрация НП колеблется в пределах от 25,65–607,10 мг/кг. Накопление нефтяных углеводородов происходит на территории трассы в поверхностном слое почвы и превышает фоновые значения в 6 раз, а на глубине 20–30 см – 2,6 раз. В местах отбора проб с территории АЗС зафиксировано максимальное содержание нефтепродуктов – 607,10 мг/кг. Концентрация НП уменьшается по мере удаления от источника загрязнения (табл. 3).

На территории вблизи котельной отмечено наименьшее содержание нефтепродуктов в почве. Однако в почвенных образцах взятых по розе ветров на расстоянии 100, 200, 300 м происходит увеличение содержания нефтепродуктов по сравнению с фоном.

Выполненные исследования на содержание тяжелых металлов показали (табл. 4), что промышленный комплекс города (ко-

тельная) и особенно автозаправочные станции оказывают негативное воздействие на загрязнение почвенного покрова города.

Все изучаемые тяжелые металлы в разной степени интенсивно накапливаются в почвах города. На территории автозаправочной станции валовое содержание цинка не превышает ПДК (100 мг/кг), что составляет 91,2 мг/кг. Однако концентрация подвижных форм цинка превышает допустимую концентрацию в 3 раза. Накопление свинца исследуемой территории связано с выбросами в атмосферу продуктов сгорания топлива, его валовое содержание и подвижные формы сопоставимы с ПДК (табл. 4). Наибольшее содержание Си в подвижных формах составляет 7,40 мг/кг, что превышает ПДК в 2 раза.

Анализ распределения тяжелых металлов на почвенных образцах вдоль трасс выявил, что средний уровень содержания микроэлементов не превышает допустимую концентрацию.

В почвах зоны влияния котельной валовое содержание тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu, Cd) не превышает допустимой нормы. ПДК подвижной формы меди для почв составляет 3,0 мг/кг, почвенном образце с территории котельной – 3,5 мг/кг. Концентрация свинца (31,3 мг/кг) сопоставима с допустимой нормой 32,00 мг/кг.

### Заключение

На основе экспериментальных исследований можно сделать выводы о количественной оценке техногенного загрязнения почвогрунтов различных функциональных зон г. Элиста.

1. Исследуемые почвы города характеризуются сульфатно-хлоридно-натриевым типом засоления.

2. В ходе исследования было выявлено, содержание бенз(а)пирена в поверхностном слое почв АЗС и трассы не превышает ПДК. На территории котельной и по розе ветров бенз(а)пирен не обнаружен.

**Таблица 4**

Содержание тяжелых металлов

Почвенный профиль	Подвижная форма, мг/кг /кг				Валовое содержание ТМ, мг			
	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn
АЗС 0–20 см	29,60	15,20	0,36	91,20	29,10	7,40	0,22	68,40
Трасса 0–20 см	13,90	7,30	0,30	33,80	8,70	2,20	0,17	17,20
Котельная 0–20 см	25,80	22,00	0,50	93,50	31,30	3,50	0,90	17,60
ПДК	30,00	55,00	2,00	100,00	32,00	3,00	2,00	23,00

3. Степень загрязнения нефтепродуктами городской почвы уменьшается по мере удаления от источника загрязнения.

4. В ходе исследования было выявлено, что содержание органического углерода изменяется в пределах 0,36–3,66%, а также увеличение идет непосредственно возле АЗС и трассы. Минимальные значения концентрации органического углерода наблюдаются на фоновых территориях.

5. Приоритетными загрязнителями среди измеренных тяжелых металлов являются соединения цинка, свинца. Наибольший уровень аккумуляции тяжелых металлов имеют почвы автозаправочных станций, а также почвы вблизи котельной.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ № 16-05-00916.*

#### Список литературы

1. Геннадиев А.Н. Миграция и аккумуляция полициклических ароматических углеводородов при техногенном

загрязнении почв / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, // Сборник тезисов международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». – Москва: МГУ, 2004 – С. 3–15.

2. ГОСТ 17.4.3.01-83. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 16 с.

3. Зволинский В.П. Экология нефтезагрязненных почв европейской части России / В.П. Зволинский, Е.К. Батовская, А.Н. Бондаренко // Земледелие. – 2007. – № 4. – С. 13–14.

4. ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.74.-2012. Определения водорастворимых форм неорганических катионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях. – М.: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2012 – 33 с.

5. ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69-10. Определения водорастворимых форм неорганических анионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях. – М.: Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2010 – 44 с.

6. ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.39-2003. Определения массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений, осадках сточных вод, 2010 – 42 с.

7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.