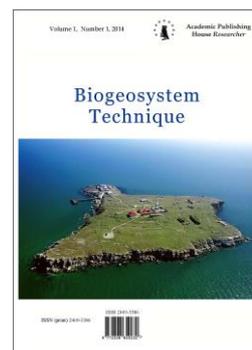


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
Biogeosystem Technique
Has been issued since 2014.
ISSN: 2409-3386
E-ISSN: 2413-7316
2017, 4(1): 82-94

DOI: 10.13187/bgt.2017.1.82
www.ejournal19.com



UDC 550.43

Trends in the Accumulation of Benzo(A)Pyrene by Natural Grassy Vegetation in the Novocherkassk Power Station Impact Zone

Svetlana N. Sushkova ^{a,*}, Irina G. Deryabkina ^a, Elena M. Antonenko ^a, Saglara S. Mandzhieva ^a, Inna V. Zamulina ^a, Andrey V. Shapovalov ^a, Hasmik S. Movsesyan ^b, Karen A. Ghazaryan ^b, Alina V. Gimp ^a, Galina K. Vasilyeva ^c

^a Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

^b Yerevan State University, Yerevan, Armenia

^c Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract

The regularities of benzo(a)pyrene (BaP) accumulation by natural grassy vegetation under the aerotechnogenic emissions from the Novocherkasskaya Power Station were revealed for the first time on the basis of long-term monitoring studies. It is shown the BaP content in natural grassy vegetation is an indicator of technogenic pressure level on territories polluted mostly by products of hydrocarbon fuel combustion. The tendencies of BaP accumulation were studied in roots and vegetative parts of natural grassy vegetation of the affected zone in the period from 2008 up to 2011, and the degree of natural grassy vegetation pollution was estimated according to the ratio of BaP content in the root to the vegetative part of plants.

The results of BaP concentration determination in the plants of monitoring plots showed the same tendencies with BaP content in soil of monitoring plots. The accumulation of pollutant in plants occurs mainly along the prevailing wind direction of the winds rose and plots located in close proximity to the Novocherkassk Power Station from 2008 to 2011. BaP accumulation by plants growing around the emissions source is due, mainly, to the physicochemical properties of the soils of the monitoring plots, mainly by their granulometric composition. It was established the background values of BaP in the natural grassy vegetation were exceeded up to 1.4 to 8.7 times, depending on the degree of proximity of the monitoring plots to the emission source.

BaP accumulation by plants has mainly soil source of uptake by root absorption. Effect of additional emission sources was revealed on the natural grassy vegetation of the remotest areas from the Novocherkassk Power Station during carrying out the complex studies of contaminated areas.

Keywords: benzo(a)pyrene, technogenic pollution, power station emissions, natural grassy vegetation, accumulation.

1. Введение

Главным маркером загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), подлежащим обязательному контролю во всем мире, является

* Corresponding author

E-mail addresses: snsushkova@sfedu.ru (S.N. Sushkova)

бенз(а)пирен (БаП), канцероген и мутаген 1 класса опасности. Актуальность комплексных исследований поведения БаП в растениях обусловлена повышенной опасностью и масштабностью загрязнения почвенного и растительного покрова этим соединением.

Активными источниками загрязнения окружающей среды ПАУ являются предприятия энергетической отрасли. Наиболее мощным предприятием энергетической отрасли в Ростовской области является филиал ОАО "ОГК-2" Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС), общий объем выбросов которой составляет более 90 тысяч тонн в год, из них около 10% приходится на долю ПАУ. Для анализа накопления и распределения БаП в важнейших объектах экосистемы необходимо отметить серьезную роль растений, которая отражается в геохимическом круговороте, а именно в поступлении загрязнителей в пищевые цепи. Поллютанты способны накапливаться в растениях в надземных и подземных частях, что зависит от характера загрязнений и состава соединения ([Contaminants in soil..., 2002](#)). Растения выполняют роль акцептора органических канцерогенов, обеспечивая механизмы самоочищения и самовосстановления экологически важных объектов, используя при этом сложные механизмы биотрансформации поллютантов растительной клеткой ([Павлова, Донина, 1979](#)).

Установлена роль растений в трансформации БаП различными механизмами ([Турусов, 1984](#); [Угрехелидзе, 1976](#)). Например, молекулы данного соединения проникают через листья растений благодаря липидным компонентам клеточной стенки и кутикулу, обеспечивая тем самым накопление БаП из атмосферы во всем растении. Механизмы поглощения БаП корнями растений разнообразны. Основные из них включают проникновение соединения в свободное пространство клеточной стенки путем диффузии с питательным раствором ([Угрехелидзе, 1976](#)). Главное условие поглощения БаП корнями растений – наличие оптимальных условий (температура почвы – более 100С, слабокислая или кислая реакция почвенного раствора). Связано это с тем, что соединение практически нерастворимо в воде, а наличие данных условий способствует проникновению сложной ароматической структуры углеводорода в растение ([Пенин и др., 1991](#)).

Процессы накопления и распределения БаП растениями связаны с его биотрансформацией в растительной клетке ([Овчинникова, 2010](#)). В корнях происходит выделение водорастворимых метаболитов и их переход в почвенный раствор, а из листьев выделяется углекислый газ. Таким образом, происходит деградация ароматических колец канцерогенных веществ в растениях ([Яковлева и др., 2012](#); [Девдариани, 1992](#); [Добровольский, Гришина, 1985](#); [Дурмишидзе и др., 1979](#)).

Обобщение специфики накопления и трансформации самого опасного органического поллютанта в растениях позволит предотвратить токсикацию живых организмов высокотоксичными и канцерогенными метаболитами, найти пути фитомелиорации и самовосстановления окружающей среды.

2. Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования изучались растения территорий, прилегающие к НчГРЭС, предприятию I класса опасности. Это одна из крупнейших тепловых электростанций России. Мониторинговые площадки были заложены в 2000 году совместно с Донским государственным аграрным университетом под руководством проф. О.Г. Назаренко. Они расположены на разном удалении от НчГРЭС (1-20 км) и приурочены к точкам единовременного отбора проб воздуха, который производился при разработке проекта по организации и обустройстве санитарно-защитной зоны северного промышленного узла г. Новочеркасска (точки № 1, 2, 3, 5, 6, 7, [Рис. 1](#)) ([Экологический паспорт..., 1995](#); [Топорская, Данилова, 1997](#); [Горобцова и др., 2006](#)).

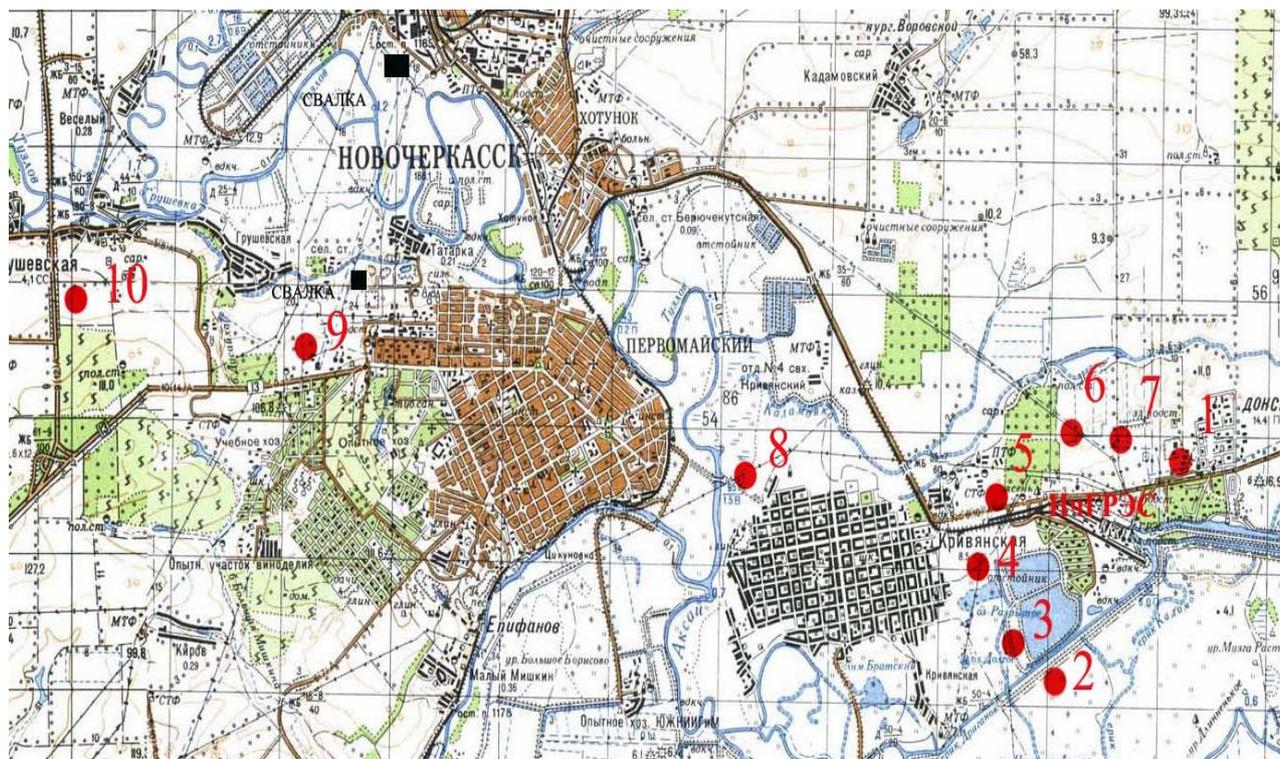


Рис. 1. Карта-схема расположения мониторинговых площадок в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС

Направление и удаленность от НчГРЭС:

Площадка № 1	1 км на северо-восток;
Площадка № 2	3 км на юго-запад;
Площадка № 3	2,7 км на юго-запад;
Площадка № 4	1,6 км на северо-запад;
Площадка № 5	1,2 км на северо-запад;
Площадка № 6	2,0 км на северо-запад;
Площадка № 7	1,5 км на север;
Площадка № 8	5 км на северо-запад;
Площадка № 9	15 км на северо-запад.
Площадка № 10	20 км на северо-запад.

В соответствии с преобладающим направлением на местности розы ветров было определено основное направление распределения атмосферных выбросов НчГРЭС. Это зона, расположенная по прямой от источника загрязнения через селитебные зоны г. Новочеркаска и станции Кривянской. По линии преобладающего направления розы ветров образцы отбирались в почвах мониторинговых площадок № 4, № 8, № 9, № 10 (рис. 1). Условие расположения площадок мониторинга – наличие целинного почвенного покрова либо залежи (не подвергавшегося агротехнике или другим техническим воздействиям).

Естественный растительный покров изучаемой территории является переходными от типчаково-разнотравно-ковыльных степей к типчаково-ковыльно-злаковым (Пашков, Зозулин, 1986). Основная часть растительности мониторинговых площадок представлена семействами Астровые (*Asteraceae*) и Злаковые или Мятликовые (*Poaceae*) составляющими на разных площадках 30-60 % и 25-55 % проективного покрытия соответственно. Преобладающее в травостое территории семейство Астровые представлено такими однолетними растениями как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia*), дурнишник зобовидный (*Xanthium strumarium*), крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris*), ромашка ободранная (*Chamomilla recutita*), двулетним растением горчаком ползучим

(*Acroptilon repens*), а также многолетними растениями: полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), латук татарский (*Lactuca tatarica*), чертополох поникающий (*Carduus nutans*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*). Семейство Злаковые представлено однолетними растениями, такими как овсюг (*Avena fatua*), костер кровельный (*Bromus tectorum*), костёр полевой (*Bromus arvensis*), и многолетними растениями, представленными овсяницей валлисской или типчаком (*Festuca valesiaca*), тростником обыкновенным (*Phragmites australis*), мятликом луговым (*Poa repens*) и пыреем ползучим (*Elytrigia repens*). Также присутствуют различные представители семейств Бобовые (*Fabaceae*): многолетние растения: вязель пестрый (*Coronil lavaria*), чина луговая (*Lathyrus pratensis*), люцерна желтая (*Medicago romanica*), двулетние: люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina*); Молочайные (*Euphorbiaceae*): многолетние: молочай степной (*Euphorbia stepposa*), молочай лозный (*Euphorbia virgata*); Сельдерейные или Зонтичные (*Apiaceae*): многолетние: синеголовник полевой (*Eryngium campestre*), резак обыкновенный (*Falcaria vulgaris*), двулетнее: морковь дикая (*Daucus carota*); Гречишные (*Polygonaceae*): однолетнее: горец птичий (*Polygonum aviculare*); Коноплевые (*Cannabiaceae*): однолетнее: конопля сорная (*Cannabis ruderalis*); Бьюнковые (*Convolvulaceae*): многолетнее: бьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*); Лютиковые (*Ranunculaceae*): однолетнее: живокость полевая (*Delphinium consolida*); Резедовые (*Resedaceae*): одно- или двулетнее: резеда желтая (*Reseda lutea*); Мареновые (*Rubiaceae*): однолетнее: подмаренник цепкий (*Galium arine*); Капустные или Крестоцветные (*Brassicaceae*): однолетнее: дескурация Софии (*Descurainia Sophia*); Норичниковые (*Scrophulariaceae*): многолетнее: льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris*); Маревые (*Chenopodiaceae*): однолетние: лебеда татарская (*Atriplex tatarica*), марь белая (*Chenopodium album*); Мальвовые (*Malvaceae*): многолетнее: хатьма обыкновенная (*Lavatera thuringiasa*); Розовые (*Rosaceae*): многолетнее: лапчатка гусиная (*Potentilla anserine*); Подорожниковые (*Plantaginaceae*): многолетнее: подорожник большой (*Plantago major*); Льновые (*Linaceae*): однолетнее: лён обыкновенный (*Linum usitatissimum*), составляющие от 5 до 15 % проективного покрытия мониторинговых площадок.

Для определения содержания БАП образцы растений отбирали ежегодно во второй декаде июня в фазу массового цветения.

Определение содержания БАП в анализируемых образцах растений проводили методом омыления (РД 52.10.556-95, 2002) первоначально в образцах удаляют омыляемую фракцию липидов путем кипячения растительного образца в спиртовом растворе щелочи с последующей 3-х-кратной экстракцией БАП гексаном (Ratola et al., 2006). Последовательность операций при проведении анализа схематически показана на рис. 2.

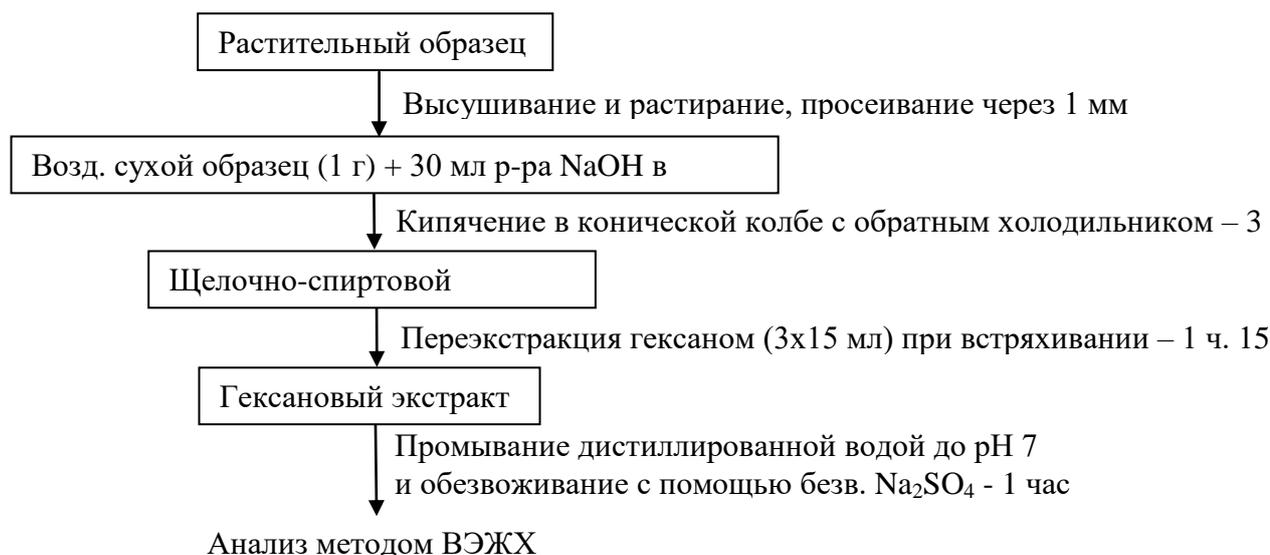


Рис. 2. Блок-схема определения содержания БАП в травянистой растительности методом омыления.

Навеску 1 г подготовленного растительного образца помещали в грушевидную колбу для роторного испарителя, заливали 20 мл 2 %-ного раствора КОН в этаноле и кипятили в колбе с обратным холодильником на водяной бане в течение 3 часов. В процессе кипячения происходит омыление липидов и смолосодержащих компонентов растений, что повышает степень экстракции ПАУ и уменьшает количество коэкстрактивных веществ в экстрактах. Образующуюся надосадочную жидкость декантировали в коническую колбу, заливали 15 мл н-гексана и 5 мл дистиллированной воды для более четкого разделения слоев. После встряхивания на роторном шейкере в течение 10 минут смесь переносили в делительную воронку. Гексановый слой сливали в отдельную посуду. Оставшийся в колбе осадок еще дважды экстрагировали гексаном по той же схеме. Объединенный гексановый экстракт промывали дистиллированной водой до нейтрального pH (по реакции лакмуса), переносили в темную, плотно закрывающуюся посуду и обезвоживали добавлением 5 г безводного Na₂SO₄ и выдерживания при +5 °С в течение 8 часов. Обезвоженный экстракт декантировали в сухую круглодонную колбу и выпаривали досуха на роторном испарителе при температуре бани 400 °С. Сухой остаток растворяли в 1 мл ацетонитрила.

Количественное определение БаП в экстрактах проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе "Люмахром" со спектрофлуориметрическим детектором "Люмахром СФЛД 2310 Флюорат-02-Панорама", насосом "Люмахром Н 1730", на колонке с обращенно-фазовым сорбентом "Kromasil C18" 15 см и флуоресцентным детектором FL 3000 в соответствии с требованиями, установленными международным стандартом ИСО 13877 (СТБ ИСО 13877-2005, 2005). Пик БаП на хроматограмме растительного образца идентифицировали путем сравнения времени удерживания БаП при анализе экстракта и стандартного образца при одновременном детектировании на двух детекторах. Это позволяет идентифицировать пик БаП с достаточно высокой степенью достоверности и более точно определить его концентрацию в экстракте. Содержание БаП в анализируемых образцах рассчитывали по методу внешнего стандарта (Методика выполнения..., 2008).

Содержание БаП в травянистой растительности рассчитывали по формуле:

$$a = k \text{ SI} \times \text{Cст} \times V / (\text{Cст} \times m), \quad (1)$$

где a – содержание БаП в растительном образце (нг/г); Cст и SI – площади пиков БаП стандартного раствора и образца; Cст – концентрация стандартного раствора БаП (нг/мл); k – коэффициент извлечения БаП из образца; V – объем ацетонитрильного экстракта (мл); m – масса образца (г). Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики с помощью программы Microsoft EXCEL.

3. Результаты и обсуждение

По результатам исследования содержания БаП в растениях с 2008 по 2011 гг. (Табл. 1) показано, что содержание поллютанта в надземной части растений в радиусе 20 км вокруг источника эмиссии выше фоновой концентрации БаП для травянистых растений – 5 нг/г (Израэль и др., 1984; Экология Новочеркасска..., 2001) и колеблется от 7,0 до 43,7 нг/г, а в корневой части растительности – от 13,3 до 57,9 нг/г.

Площадки, находящиеся по линии (№ 4, 8, 9, 10) и вблизи (№ 5) преобладающего направления розы ветров. Максимальная степень накопления БаП в надземной и корневой частях растительной массы, отобранной на мониторинговых площадках, расположенных по линии преобладающего направления розы ветров, наблюдается в растениях мониторинговой площадки № 4. Данная площадка расположена в северо-западном направлении на расстоянии 1,6 км от НчГРЭС. Содержание БаП в вегетативной части растений здесь составляет 43,7 нг/г, в корнях содержание поллютанта составляет 57,8 нг/г (Табл. 1), что превышает фоновую концентрацию в 8,7 и 11,6 раз соответственно. Соотношение содержания поллютанта в корнях к его содержанию в надземной части травянистой растительности площадки № 4 самое низкое (Табл. 1). Это свидетельствует о том, что растения, произрастающие на данном участке, испытывают наибольшую техногенную нагрузку под влиянием аэрозольных выбросов предприятия (Oleszczuk and Baran, 2007).

Таблица 1. Среднее содержание БаП в естественной травянистой растительности мониторинговых площадок (среднее за 2008-2011 гг.)

Номер площадки мониторинга	Удаление и направление от источника загрязнения	Надземная часть растений	Корневая часть растений	Отношение в корневой: надземной частях растений	Превышение фонового содержания в надземной части растений
1	1,0 С-В	32,2±1,8	42,3±2,8	1,3	6,4
2	3,0 Ю-З	19,3±1,1	23,0±2,1	1,2	3,9
3	2,7 Ю-З	28,0±2,0	38,5±2,7	1,4	5,6
4	1,6 С-З	43,7±3,4	57,8±3,9	1,3	8,7
5	1,2 С-З	30,2±2,8	52,7±4,4	1,7	6,0
6	2,0 С	12,3±0,8	17,6±1,5	1,4	2,5
7	1,5 С	13,8±1,0	19,2±1,6	1,4	2,8
8	5,0 С-З	28,7±2,1	39,5±2,1	1,4	5,7
9	15,0 С-З	7,0±0,4	13,3±0,7	1,9	1,4
10	20,0 С-З	14,5±1,1	21,7±1,7	1,5	2,9

Содержание БаП в надземной части и корнях растений площадки № 5 несколько ниже, чем на площадке № 4, однако степень загрязнения БаПом растений мониторинговых площадок № 5 и № 4 сохраняется самой высокой на исследуемой территории (Горбцова и др., 2006).

По мере удаления от основного источника эмиссии по линии преобладающего направления розы ветров в растениях мониторинговых площадок № 8 и № 9, расположенных в 5 и 15 км от НчГРЭС, соответственно, наблюдается превышение фоновых концентраций БаП. Вместе с тем отмечается тенденция снижения содержания БаП при удалении от источника эмиссии. Для площадки № 8 содержание БаП в вегетативной части растений составляет 28,7 нг/г, в корневой – 39,5 нг/г.

Содержание БаП в вегетативной части растений площадки № 9 составляет 7,0 нг/г, что близко к фоновому содержанию поллютанта в растениях. Содержание БаП в корнях почти в 2 раза превышает его содержание в вегетативной части растений. Такое соотношение является самым высоким среди рассматриваемых (табл. 1) и показывает значительную роль корневого поглощения в накоплении БаП травянистой растительностью в условиях невысокой техногенной нагрузки (Sushkova et al., 2014).

Следует отметить повышенное содержание БаП в вегетативной и корневой частях растительности мониторинговой площадки № 10, которая находится в 20 км от НчГРЭС. Территория данной площадки подвержена дополнительному загрязнению со стороны автотранспортной магистрали, что в свою очередь увеличивает содержание поллютанта до 14,5 нг/г в вегетативной части и 21,7 нг/г в корневой части, что превышает значение фоновой концентрации БаП в 3,6 раза (табл. 1).

Площадки, расположенные в радиусе 1 – 3 км от НчГРЭС (№ 2, 3, 6, 7). Степень загрязнения БаП растительности площадок № 2, 3, 6, 7 в 2008–2011 гг. ниже, чем по линии преобладающего направления розы ветров. Однако, содержание БаП в растениях мониторинговых площадок, расположенных в радиусе 1-3 км от НчГРЭС, превышает фоновую концентрацию от 3,0 до 6,7 раз. Высокая степень накопления поллютанта обнаружена в корневой и надземной частях растительности площадки № 3, что в 1,5-1,7 раза выше содержания поллютанта в растениях площадки № 2 (табл. 1).

Процесс поглощения БаП корнями растений из почвы можно представить как производный от нескольких факторов: растворимости веществ в воде, содержания органического вещества и вида растения (Simonich and Hites, 1995). Значительное влияние на аккумуляцию БаП растениями оказывает гранулометрический состав почвы (Табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические и агрохимические свойства почв территорий, прилегающих к ГРЭС (среднее за 2008-2011 гг.)

Номер площадки	Почва	Физ. глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH	CaCO ₃ , %	NH ₄ , мг/100г почвы	P ₂ O ₅ , мг/100г почвы	K ₂ O, мг/100г почвы	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ , мг- экв/ 100г почвы	ЕКО, мг- экв/ 100г почвы
1	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	52	27	4,3	7,6	0,5	2,7	3,7	41,3	31,6	35,0
2	Аллювиальная карбонатная малогумусная песчаная на аллювиальных отложениях	7	3	3,1	7,5	0,4	2,6	1,7	20,9	11,1	10,9
3	Лугово-черноземная среднегумусная легкоглинистая на аллювиальных отложениях	67	37	4,6	7,3	0,2	2,1	4,2	34,8	40,3	44,8
4	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	55	29	4,6	7,5	0,7	3,0	3,9	31,9	30,4	31,2
5	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	53	27	4,3	7,5	1,0	2,6	3,0	38,3	34,1	35,7
6	Лугово-черноземная среднемошная среднегумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках	55	30	4,1	7,7	0,8	3,6	3,7	37,4	29,9	32,4
7	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	51	27	4,1	7,6	0,7	2,8	2,9	48,6	31,3	31,3
8	Лугово-черноземная среднемошная среднегумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках	60	32	5,0	7,4	0,4	2,2	4,5	35,3	44,1	47,6
9	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	52	30	4,2	7,6	0,6	2,3	3,9	33,8	31,7	31,4
10	Чернозем обыкновенный карбонатный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках	53	28	4,6	7,6	0,5	3,7	3,8	40,3	34,0	36,0

Пониженное содержание физической глины в почвенном профиле способствует скорейшей миграции БАП в нижележащие слои, поскольку песчаные частицы обладают пониженной сорбционной способностью по отношению к поллютанту (Motuzova и др., 2014). Слабая степень накопления и перемещение соединения вниз по профилю не позволяет молекулам сорбироваться корневой частью растений в полной мере. Возможно, дополнительное влияние оказывает характер растительности мониторинговых площадок, содержание органического вещества и реакция почвенного раствора. Поглощение поллютанта из легкоглинистой почвы происходит по механизму накопления поверхностным слоем почвы – аккумуляция корневой частью растений (Райхман, 1999; Simonich, Hites, 1995). Этому способствует повышенная приповерхностная аккумуляция БАП верхним слоем легкоглинистой почвы, а также повышенное содержание гумуса – 4,6 %. Также есть литературные данные, показывающие, что органическое вещество почв, а именно гуминовые кислоты способны связывать ПАУ и оказывать замедляющее воздействие на аккумуляцию БАП растениями (Lee et al., 1981; Clar, 1964).

Для площадок № 6 и № 7 характерно превышение фоновых концентраций БАП в растениях в 3,0 – 3,3 раза (табл. 1), что объясняется влиянием физических свойств почв на сорбицию БАП растениями. Содержание физической глины в данных почвах составляет 51 и 55 %, соответственно, что способствует приповерхностной аккумуляции БАП и повышению биодоступности растениям (Табл. 2) (Яковлева и др., 2012).

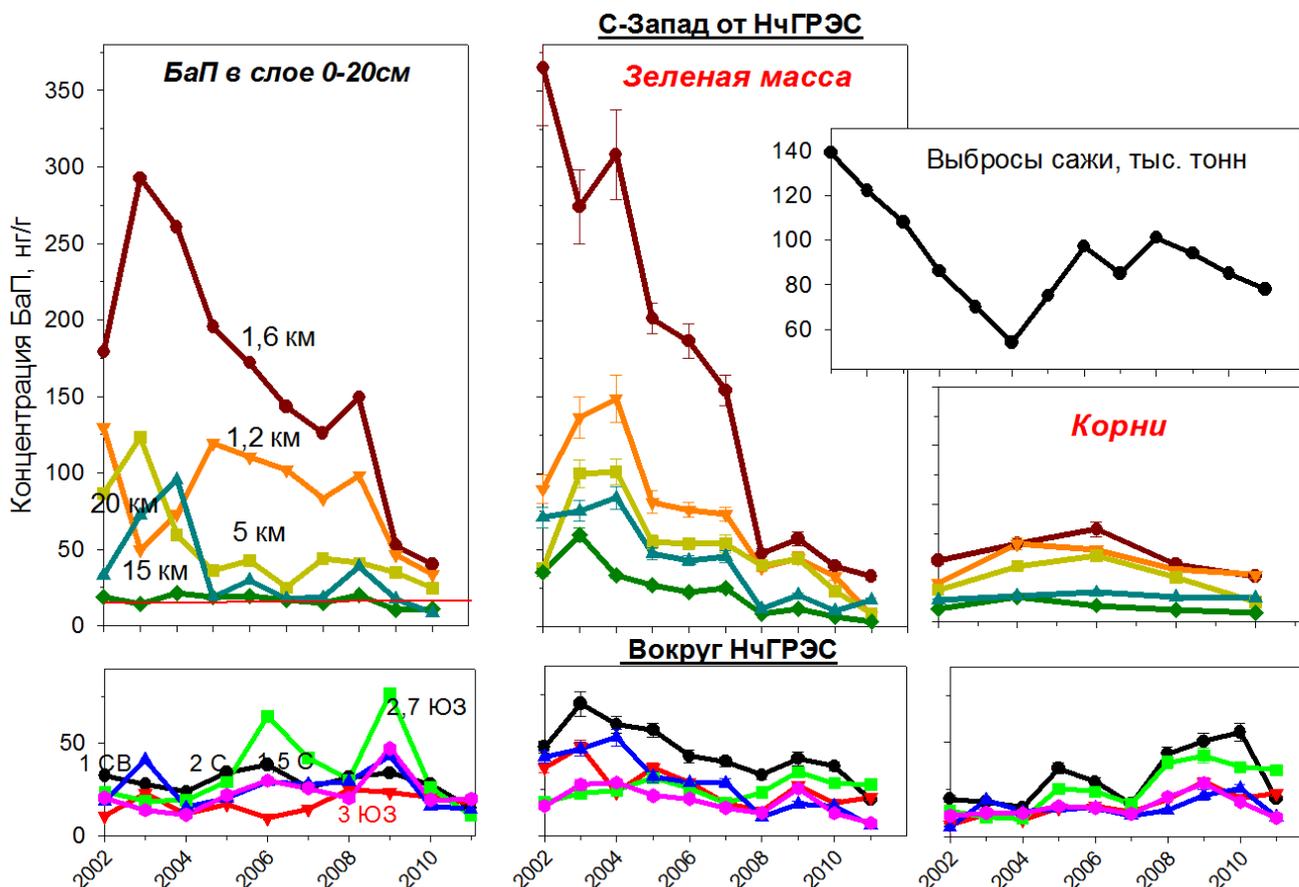


Рис. 3. Сравнение динамики накопления БАП в почве и растениях (зеленая масса и корни) в зоне влияния НЧГРЭС

Особое место в описании территории зоны влияния НЧГРЭС занимает мониторинговая площадка № 1. Мониторинговая площадка № 1 находится в непосредственной близости к НЧГРЭС, что обуславливает высокий уровень загрязнения БАПом. Содержание поллютанта в вегетативной массе составляет 32,2 нг/г, а в корневой части – 42,3 нг/г (Табл. 1). Помимо

воздействия выбросов НчГРЭС в непосредственной близости к площадке № 1 проходит дорога, что обеспечивает дополнительное поступление поллютанта в растения и почвы.

Большая часть БаП, в среднем в 1,5 раза, накапливается в корнях растений (Рис. 3), что указывает на антропогенный источник поступления поллютанта. Данный факт отмечен в работах (Ratola et al., 2012; Дурмишидзе и др., 1979; Галиулин, Башкин, 1999). Имеются данные о том, что БаП способен перемещаться в растениях от корней к надземным органам, а также подвергаться полному или частичному разрушению в процессе трансформации органами растений. В первую очередь этот процесс связан со связью клеточными структурами, например, лигнином.

Более того, содержание поллютанта в поверхностном слое почв во много раз превышает его содержание в вегетативной части растений (Mandzhieva и др., 2014). Вероятно, эти закономерности свидетельствуют о преимущественном загрязнении почвы и корневом поступлении БаП в растительность, что в свою очередь связано со снижением атмосферных выбросов НчГРЭС (Рис. 3) в связи с реконструкцией очистительных систем и переходом на природный газ. Следует отметить также факт возможного снижения влияния городской свалки на растения данной площадки, в связи с прекращением её деятельности и рекультивацией данного объекта в 2012-2013 гг.

Таким образом, проведенные исследования показали (Горобцова и др., 2006), что накопление БаП в исследуемом степном биоценозе происходило в результате осаждения твердых выбросов НчГРЭС на прилегающие территории, и зависело от преобладающего направления ветров.

4. Заключение

Несмотря на природоохранные мероприятия, проводимые на предприятии, влияние атмосферных выбросов НчГРЭС на экологическую обстановку прилегающей территории в настоящее время все еще остается преимущественным. Подтверждено влияние ещё одного важного источника поступления поллютанта в почвы и растительность изучаемой территории – это выхлопные газы автотранспорта. Влияние данного дополнительного источника эмиссии является относительно постоянным по мере роста количества автотранспорта, но при тенденции улучшения качества выхлопа в соответствии с современными стандартами.

Содержание БаП в растениях изучаемых территорий превышает фоновые концентрации от 1,4 до 8,7 раз в зависимости от расположения мониторинговой площадки по отношению к НчГРЭС. Отношение содержания БаП в корневой к надземной части мониторинговой растительности составляет от 1,2 до 1,7 раза, что свидетельствует о корневом характере поступления БаП в растения. Максимальная степень накопления БаП наблюдается в растительности мониторинговых площадок максимально приближенных к НчГРЭС, и находящихся на линии преобладающего направления розы ветров. Постепенное снижение содержания БаП установлено при удалении от предприятия во всех направлениях. Тенденции поступления БаП в естественную травянистую растительность с годами меняется. Так, преобладающий источник поступления БаП в растениях с годами меняется с фолитарного на корневой вследствие снижения объема атмосферных выбросов НчГРЭС.

Литература

Галиулин, Башкин, 1999 – Галиулин Р.В., Башкин В.Н. (1999). Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения – растение // *Агрехимия*, № 12, С. 69-77.

Горобцова и др., 2006 – Горобцова О.Н., Назаренко О.Г., Минкина Т.М., Борисенко Н.И. (2006). Содержания 3,4- бенз(а)пирена в растительности, расположенной в зоне влияния НчГРЭС // *Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естественные науки*, 2006, №. 3, С. 63-66.

Девдариани, 1992 – Девдариани Т.В. (1992). Биотрансформация некоторых канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в растениях: Автореф. дис. док. биол. наук. Тбилиси, 46 с.

Добровольский, Гришина, 1985 – Добровольский Г.В., Гришина Л.А. (1985). Охрана почв. М.: Мир, 224 с.

Дурмишидзе и др., 1979 – Дурмишидзе С.В., Девдариани Т.В. и др. (1979). Усвоение 3,4-бенз(а)пирена -7,10-14С корнями однолетних растений // *Растения и химические канцерогены*. Л.: Наука, С.87-88.

Израэль, 1984 – Израэль Ю.А. (1984). Экология и контроль состояние природной среды. М.: Гидрометеиздат, С. 355-356.

Методика выполнения..., 2008 – (2008). Методика выполнения измерений массовой доли бенз(а)пирена в почвах, грунтах и осадках сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Свидетельство №27-08 от 04.03.2008. Москва. 2008. 56 с.

Овчинникова, 2010 – Овчинникова А.А. (2010). Взаимодействие микроорганизмов-деструкторов в ризосфере и ризоплане растений в присутствии углеводов нефти: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Пущино, 24 с.

Пашков, Зозулин, 1986 – Пашков Г.Д., Зозулин Г.М. (1986). Растительность. Природные условия и естественные ресурсы. Ростов н/Д, С. 259-285.

Павлова, Донина, 1979 – Павлова Н.А., Донина И.Л. (1979). Значение растворимости бенз(а)пирена в воде для перехода его из почвы в растения. *Растения и химические канцерогены*. Л.: Наука, С. 99-100.

Пенин и др., 1991 – Пенин Р.Л., Геннадиев А.Н., Касимов Н.С., Козин И.С. (1991). Полициклические ароматические углеводороды в речных отложениях как индикатор антропогенного воздействия на окружающую среду // *Мониторинг фонового загрязнения природ. среды*. Л.: Гидрометеиздат, № 7, С. 192-203.

Райхман, 1999 – Райхман Я.Г. (1999). Управление канцерогенной ситуацией и профилактика рака (системный подход). Элиста: Джангар, 253 с.

РД 52.10.556-95, 2002 – РД 52.10.556-95 (2002). Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. Росгидромет, Москва, 32 с.

СТБ ИСО 13877-2005, 2005 – СТБ ИСО 13877-2005, 2005. Качество почвы. Определение полициклических ароматических углеводородов. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, 20 с.

Топорская, Данилова, 1997 – Топорская Л.Е., Данилова Г.Н. (1997). Экологическое состояние окружающей среды г. Новочеркаска. Проблемы геологии и геоэкологии юга России и Кавказа. Материалы междунар. конф. Т.2. Новочеркасск: НАБЛА. С. 75-78.

Турусов, 1984 – Турусов В.С. (1984). Канцерогенное действие химических соединений // *Профилактическая токсикология*. Сборник учебно-методических материалов. М.: МРПТХВ. С. 332-346.

Угрехелидзе, 1976 – Угрехелидзе Д.Ш. (1976). Метаболизм экзогенных алканов и ароматических молекул в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 136 с.

Экологический паспорт..., 1995 – (1995). Экологический паспорт г. Новочеркаска. Отчёт о результатах крупномасштабных геохимических и радиометрических исследований экологической обстановки г. Новочеркаска. 178 с.

Яковлева и др., 2012 – Яковлева Е.В., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М., Габов Д.Н. (2012). Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва - растения биоценозов северной тайги // *Почвоведение*, № 3. С. 356-367.

Экология Новочеркаска..., 2001 – (2001). *Экология Новочеркаска*. Проблемы, пути решения. Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 412 с.

Contaminants in soil..., 2002 – (2002). *Contaminants in soil: Collation of toxicological data and intake values for humans*. Benzo[a]pyrene. Technical report, Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency, Bristol, Environment Agency. ISBN 1-857-05741-4

Lee et al., 1981 – Lee M.L., Novotny M.V., Bartle K.D. (1981). *Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds*, Academic Press, INC. LTD, London, pp. 462. 57.

Clar, 1964 – Clar E. (1964). *Polycyclic Hydrocarbons*. Academic Press, London and New York, 442 p.

Mandzhieva et al., 2014 – Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V., Chaplugin V.A. (2014). The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state // *American Journal of Agricultural and Biological Science*, Vol. 9, Is. 1. pp. 19-24.

Motuzova и др., 2014 – Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Issue PB, pp. 241-246.

Oleszczuk and Baran, 2007 – Oleszczuk, P., Baran, S. (2007). Polyaromatic hydrocarbons in rhizosphere soil of different plants: effect of soil properties, plant species, and intensity of anthropogenic pressure // *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 171–188.

Ratola et al., 2012 – Ratola N., Alves A., Lacorte S., Barcelo D. (2012). Distribution and sources of PAHs using three pine species along the Ebro river // *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 985–999.

Ratola et al., 2006 – Ratola N., Lacorte S., Alves A., Barcelo D. (2006). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles by gas chromatography mass spectrometry: comparison of different extraction and clean-up procedures // *Journal of Chromatography A* 1114, 198–204.

Simonich and Hites, 1995 – Simonich S.L., Hites R.A. (1995). Global distribution of persistent organochlorine compounds // *Science*, № 269(5232), pp. 1851-4.

Sushkova et al., 2014 – Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T. (2014). New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction // *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Part B. pp. 267–272.

References

Galiulin, Bashkin, 1999 – Galiulin R.V., Bashkin V.N. (1999). Peculiarities of the behavior of persistent organic pollutants in the system of atmospheric deposition – plant, *Agrochemistry*, No. 12, pp. 69-77.

Gorobtsova et al., 2006 – Gorobtsova O.N., Nazarenko O.G., Minkina T.M., Borisenko N.I. (2006). The content of 3,4-benzo (a) pyrene in vegetation located in the zone of influence of NCHRES, *Izv. Universities. North-Caucasus. region. Natural Sciences*, No. 3, pp. 63-66.

Devdariani, 1992 – Devdariani T.V. (1992). Biotransformation of some carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in plants: Author's abstract. *Dis. Doc. Biol. Sciences*, Tbilisi, 46 p.

Dobrovolsky, Grishina, 1985 – Dobrovolsky G.V., Grishina L.A. (1985). *Protection of soils*. Moscow: Mir, 224 p.

Durmishidze, 1979 – Durmishidze S.V., Devdariani T.V. and others (1979). The assimilation of 3,4-benz (a) pyrene-7,10-14C with the roots of annual plants, *Plants and chemical carcinogens*, L.: Science, pp.87-88.

Yisrael, 1984 – Yisrael Yu.A. (1984). *Ecology and control of the state of the natural environment*. Moscow: Gidrometeoizdat, pp. 355-356.

Method for performing, 2008 – (2008). Method for performing measurements of the mass fraction of benz (a) pyrene in soils, soils and sewage sludge by high-performance liquid chromatography, Certificate No. 27-08 dated 04.03.2008, Moscow, 56 p.

Ovchinnikova, 2010 – Ovchinnikova A.A. (2010). Interaction of microorganisms-destroyers in the rhizosphere and plant rhizoplane in the presence of petroleum hydrocarbons: Author's abstract of thesis. *Diss. Cand. Biol.nauk*. Pushchino, 24 p.

Pashkov, Zozulin, 1986 – Pashkov G.D., Zozulin G.M. (1986). *Vegetation. Natural conditions and natural resources*. Rostov n/D, pp. 259-285.

Pavlova, Donina, 1986 – Pavlova N.A., Donina I.L. (1979). The solubility value of benz (a) pyrene in water for its transition from soil to plants. *Plants and chemical carcinogens*. L.: Nauka, pp. 99-100.

Penin et al., 1991 – Penin R.L., Gennadiev A.N., Kasimov N.S., Kozin I.S. (1991). Polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments as an indicator of anthropogenic impact on the environment, *Monitoring of the background pollution of nature environment*. L.: Gidrometeoizdat, No. 7, pp. 192-203.

Raikhman, 1999 – Raikhman Ya.G. (1999). *Management of carcinogenic situation and cancer prevention (systemic approach)*, Elista: Djangar, 253 p.

RD 52.10.556-95, 2002 – RD 52.10.556-95, 2002. *Methodical instructions. Determination of pollutants in samples of marine sediments and suspended matter*. Rosgidromet, Moscow, 32 p.

STB ISO 13877-2005, 2005 – STB ISO 13877-2005, 2005. *Soil quality. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons. High performance liquid chromatography method*, 20 sec.

- [Toporskaya, Danilova, 1997](#) – *Toporskaya L.E., Danilova G.N.* (1997). Ecological state of the environment of Novochoerkassk, Problems of geology and geoecology of the south of Russia and the Caucasus. Materials of the Intern. Conf., Vol. 2, Novochoerkassk: NABLA, pp. 75-78.
- [Turusov, 1984](#) – *Turusov V.S.* (1984). Carcinogenic action of chemical compounds // Prophylactic toxicology. Collection of educational materials. IRPTC. M., pp. 332-346.
- [Ugrekhelidze, 1976](#) – *Ugrekhelidze D.Sh.* (1976). Metabolism of exogenous alkanes and aromatic molecules in plants, Tbilisi: Metsniereba, 136 p.
- [Ecological passport, 1995](#) – (1995). *Ecological passport of Novochoerkassk*. Report on the results of large-scale geochemical and radiometric studies of the ecological situation in Novochoerkassk, 178 p.
- [Yakovleva et al., 2012](#) – *Yakovleva E.V., Beznosikov V.A., Kondratenok B.M., Gabov D.N.* (2012). Regularities of bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant system of biocenoses of the northern taiga, Pochvovedenie, No. 3. pp. 356-367.
- [Ecology of Novochoerkassk, 2002](#) – (2001). *Ecology of Novochoerkassk*. Problems, solutions. - Rostov n / a.: SKNTSVSH, 412 p.
- [Contaminants in soil..., 2002](#) – *Contaminants in soil: Collation of toxicological data and intake values for humans* (2002). Benzo[a]pyrene. Technical report, Department for Environment, Food and Rural Affairs and the Environment Agency, Bristol, Environment Agency. ISBN 1-857-05741-4
- [Lee et al., 1981](#) – *Lee M.L., Novotny M.V., Bartle K.D.* (1981). Analytical Chemistry of Polycyclic Aromatic Compounds, Academic Press, INC. LTD, London, pp. 462. 57.
- [Clar, 1964](#) – *Clar E.* (1964). Polycyclic Hydrocarbons. Academic Press, London and New York, 442 p.
- [Mandzhieva et al., 2014](#) – *Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V., Chapligin V.A.* (2014). The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state, American Journal of Agricultural and Biological Science, Vol. 9, Is. 1. pp. 19-24.
- [Motuzova и др., 2014](#) – *Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S.* (2014). Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment, Journal of Geochemical Exploration, Vol. 144, Issue PB, pp. 241-246.
- [Oleszczuk and Baran, 2007](#) – *Oleszczuk, P., Baran, S.* (2007). Polyaromatic hydrocarbons in rhizosphere soil of different plants: effect of soil properties, plant species, and intensity of anthropogenic pressure, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38, 171–188.
- [Ratola et al., 2012](#) – *Ratola N., Alves A., Lacorte S., Barcelo D.* (2012). Distribution and sources of PAHs using three pine species along the Ebro river, *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 985–999.
- [Ratola et al., 2006](#) – *Ratola N., Lacorte S., Alves A., Barcelo D.* (2006). Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles by gas chromatography mass spectrometry: comparison of different extraction and clean-up procedures, *Journal of Chromatography A* 1114, 198–204.
- [Simonich and Hites, 1995](#) – *Simonich S.L., Hites R.A.* (1995). Global distribution of persistent organochlorine compounds, *Science*, № 269(5232), pp. 1851-4.
- [Sushkova et al., 2014](#) – *Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T.* (2014). New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction, *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 144, Part B. pp. 267–272.

УДК 550.43

Тенденции накопления бенз(а)пирена естественной травянистой растительностью зоны влияния Новочеркасской ГРЭС

Светлана Николаевна Сушкова ^{a,*}, Ирина Геннадьевна Дерябкина ^a,
Елена Михайловна Антоненко ^a, Саглар Сергеевна Манджиева ^a,
Инна Валерьевна Замулина ^a, Андрей Валентинович Шаповалов ^a,
Асмик Седраковна Мовсеян ^b, Карен Арамаисович Казарян ^b,
Алина Владимировна Гимп ^a, Галина Кирилловна Васильева ^c

^a Южный федеральный университет, Российская Федерация

^b Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

^c Учреждение Российской академии наук Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация

Аннотация. Впервые на основании многолетних мониторинговых исследований выявлены закономерности накопления бенз(а)пирена (БаП) в естественной травянистой растительности, находящейся под влиянием аэротехногенных выбросов Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС). Показано, что содержание БаП в естественной травянистой растительности является индикатором уровня техногенной нагрузки территорий, основным загрязняющим агентом которых являются продукты сгорания углеводородного топлива. Изучены тенденции накопления БаП в корневой и вегетативной частях естественной травянистой растительности зоны влияния тепловой электростанции в период с 2008 по 2011 гг, дана оценка степени загрязнения естественной травянистой растительности БаП по соотношению содержания БаП в корневой к надземной части растений. Результаты исследований содержания БаП в растениях мониторинговых площадок с 2008 по 2011 гг. показали, что, как и в почвах изучаемой территории, накопление поллютанта в растениях происходит преимущественно по линии преобладающего направления розы ветров и площадок, расположенных в непосредственной близости к НчГРЭС. Накопление БаП растениями, произрастающими вокруг источника эмиссии, обусловлены, в основном, физико-химическими свойствами почв мониторинговых площадок, преимущественно их гранулометрическим составом. Установлено превышение фоновых значений БаП в естественной травянистой растительности от 1.4 до 8.7 раз в зависимости от степени приближенности мониторинговых площадок к источнику эмиссии. Аккумуляция БаП имеет преимущественно почвенный характер поступления поллютанта в растения путем корневого поглощения. При проведении комплексных исследований загрязненной территории выявлено воздействие дополнительных источников эмиссии на растительность самых отдаленных от НчГРЭС участков.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, техногенное загрязнение, выбросы электростанции, естественная травянистая растительность, аккумуляция.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: snsushkova@sfnedu.ru (С.Н. Сушкова)