

СОДЕРЖАНИЕ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

И.Г. Тюрина¹, С.Н. Сушкова¹, Т.М. Минкина¹, О.Г. Назаренко², С.С. Манджиева¹, Т.В. Бауэр¹,
Е.А. Колина¹, ¹Южный федеральный университет, ²ЦАС "Ростовский"

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ № МК-6827.2015.4, Министерства образования и науки РФ №5.885.2014/К, РФФИ № 15-35-21134

Представлены результаты исследования загрязнения естественной травянистой растительности, произрастающей на территории, находящейся под влиянием азротехногенных выбросов Новочеркасской ГРЭС, одним из самых токсичных полициклических ароматических углеводородов – бенз(а)пиреном. Содержание бенз(а)пирена в надземной и корневой частях растений с 2008 по 2011 гг. в радиусе 20 км вокруг источника эмиссии превышает фоновую концентрацию бенз(а)пирена для травянистых растений – 5 нг/г в 1,4–8,7 раз для надземной части и в 2,7–12 раз для корневой части. Показано, что накопление бенз(а)пирена в исследуемом степном биоценозе происходило в результате осаждения твердых выбросов Новочеркасской ГРЭС на прилегающие территории и зависело от преобладающего направления ветров. Дополнительным источником эмиссии бенз(а)пирена на изучаемой территории служат выхлопы автотранспорта.

Ключевые слова: естественная травянистая растительность, бенз(а)пирен, загрязнение, источники эмиссии.

Главным маркером загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), подлежащими обязательному контролю во всем мире, является бенз(а)пирен (БаП) – канцероген и мутаген 1 класса опасности. Актуальность комплексных исследований поведения БаП в растениях обусловлена повышенными опасностью и масштабностью загрязнения почвенного и растительного покрова этим соединением.

Активные источники загрязнения окружающей среды ПАУ – 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 тыс. т в год, из них около 10% приходится на долю ПАУ [22]. При анализе накопления и распределения БаП в важнейших объектах экосистемы необходимо отметить существенную 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.

Растения выполняют роль акцептора органических канцерогенов, обеспечивая механизмы самоочищения и самовосстановления экологически важных объектов, используя при этом сложные процессы биотрансформации поллютантов растительной клеткой [15, 19]. Например, молекулы данного соединения проникают через листья растений, благодаря липидным компонентам клеточной стенки, и через кутикулу, обеспечивая 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 [20]. Главное условие поглощения БаП корнями растений – наличие оптимальных условий (температура почвы – более 10°C, слабокислая или кислая реакция почвенного раствора). Связано это с тем, что соединение практически не растворимо в воде, а наличие данных условий способствует проникновению сложной ароматической структуры углеводорода в растение [17].

Процессы накопления и распределения БаП растениями связаны с его биотрансформацией в растительной клетке. В

корнях происходят выделение водорастворимых метаболитов и их переход в почвенный раствор, а из листьев выделяется диоксид углерода. Таким образом, идет деградация ароматических колец канцерогенных веществ в растениях [10, 11, 23].

Обобщение специфики накопления и трансформации одного из самых опасных органических поллютантов в растениях позволит предотвратить токсикацию живых организмов высокотоксичными и канцерогенными метаболитами, найти пути фитомелиорации и самовосстановления окружающей среды [4, 13].

Методика. В качестве объектов исследования изучали растения территорий, прилегающих к НчГРЭС, – предприятие I класса опасности. Это одна из крупнейших тепловых электростанций России. Мониторинговые площадки были заложены в 2000 г. совместно с Донским ГАУ 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 проводился при разработке проекта по организации и обустройству санитарно-защитной зоны северного промышленного узла г. Новочеркасска (точки № 1–3, 5–7, рис.) [5, 21, 22].

За годы исследований основными направлениями розы ветров на исследуемой территории были западное и северо-западное, в соответствии с чем определяли основное направление распределения атмосферных выбросов НчГРЭС. Это зона расположена по прямой от источника загрязнения через селитебные зоны г. Новочеркасска и станицы Кривянской. По линии преобладающего направления розы ветров образцы отбирали в почвах мониторинговых площадок №№ 4, 8–10 (рис.). Все мониторинговые площадки расположены в импактной зоне НчГРЭС и представлены полевыми участками, находящимися вдали от застроек. Условие расположения мониторинговых площадок – наличие многолетних залежных участков, не подвергавшихся технической обработке.

Естественный растительный покров изучаемой территории является переходным от типчаково-разнотравно-ковыльных степей к типчаково-ковыльно-злаковым [16]. Основная часть растительности мониторинговых площадок представлена семействами Астровые и Злаковые, или Мятликовые, 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, дурнишник зобовидный, крестовник обыкновенный, ромашка аптечная, двулетним растением горчаком ползучим, а также многолетними растениями: полынь австрийская, полынь горькая, латук татарский, чертополох поникающий, тысячелистник обыкновенный, цикорий обыкновенный, пижма обыкновенная. Семейство Злаковые представлено однолетними растениями: овсюг, косяк кровельный, косяк полевой, прямой и многолетними растениями: овсяница валлиская, или типчак, тростник обыкновенный, мятлик луговой и пырей ползучий. Для определения содержания БаП образцы растений отбирали ежегодно во второй декаде июня в фазе массового цветения.

Содержание БаП в растениях устанавливали стандартным методом РД 52.10.556–95 [18] в модификации, позволяющей удалить мешающие липидные макрокомпоненты растений путем омыления (метод омыления) [24]. При определении

БаП методом омыления первоначально в образцах удаляют омыляемую фракцию липидов путем кипячения растительного образца в спиртовом растворе щелочи с последующей 3-кратной экстракцией БаП гексаном.

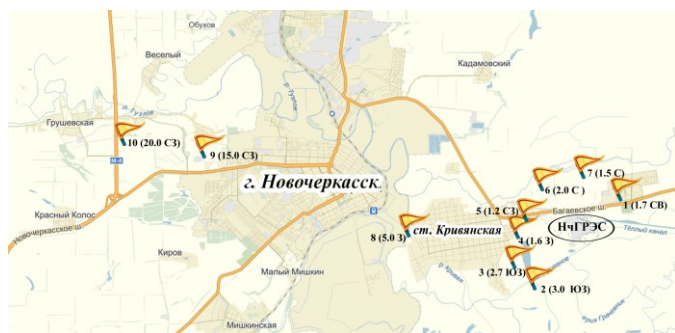


Рис. Карта-схема расположения мониторинговых площадок в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС

№ площадки	Удаленность от НЧГРЭС, км
1	1,7 на северо-восток
2	3 на юго-запад
3	2,7 на юго-запад
4	1,6 на запад
5	1,2 на северо-запад
6	2,0 на север
7	1,5 на север
8	5 на запад
9	15 на северо-запад
10	20 на северо-запад

Количественное определение БаП в экстракте проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе Thermo Separation Product (США, 2000) с ультрафиолетовым и флюоресцентным детекторами. Содержание БаП в анализируемых образцах рассчитывали по методу внешнего стандарта (абсолютной калибровки). Полученные результаты обработаны методами математической статистики.

Содержание БаП в травянистой растительности (нг/г) рассчитывали по формуле:

$$a = k \cdot S_1 \cdot C_{\text{ст}} \cdot V / (S_{\text{ст}} \cdot m),$$

где k – коэффициент извлечения БаП из образца; $S_{\text{ст}}$ и S_1 – площади пиков БаП, соответственно, стандартного раствора и образца; $C_{\text{ст}}$ – концентрация стандартного раствора БаП, нг/мл; V – объем ацетонитрильного экстракта, мл; m – масса образца, г.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований с 2008 по 2011 гг. 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 [12, 23] и колеблется от 7,0 до 43,7, в корневой части растительности – от 13,3 до 57,9 нг/г.

Площадки, находящиеся по линии (№ 4, 5, 8-10) преобладающего направления розы ветров. Максимальная степень накопления БаП в надземной и корневой частях растительной массы наблюдается в растениях мониторинговой площадки № 4. Содержание БаП в вегетативной части растений на этой площадке составляет 43,7 нг/г, в корнях содержание поллютанта – 57,8 нг/г, 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 площадок 4 очень низкое для обследуемой территории (табл. 1). Это свидетельствует о том, что растения, произрастающие на данном участке, испытывают высокую техногенную нагрузку под влиянием аэрозольных выбросов предприятия [2, 3].

Содержание БаП в надземной части и корнях растений площадки № 5 несколько ниже, чем площадки № 4, однако степень загрязнения БаП растений мониторинговых площадок № 5 и № 4 сохраняется самой высокой на исследуемой территории [9].

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. На площадке № 8 содержание БаП в вегетативной части растений составляет 28,7 нг/г, в корневой – 39,5 нг/г.

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

№ площадки мониторинга	Надземная часть растений	Корневая часть растений	Отношение корневой части растений к надземной	Превышение фонового содержания в надземной части растений
1	32,2±1,8	42,3±2,8	1,3	6,4
2	19,3±1,1	23,0±2,1	1,2	3,9
3	28,0±2,0	38,5±2,7	1,4	5,6
4	43,7±3,4	57,8±3,9	1,3	8,7
5	30,2±2,8	52,7±4,4	1,7	6,0
6	12,3±0,8	17,6±1,5	1,4	2,5
7	13,8±1,0	19,2±1,6	1,4	2,8
8	28,7±2,1	39,5±2,1	1,4	5,7
9	7,0±0,4	13,3±0,7	1,9	1,4
10	14,5±1,1	21,7±1,7	1,5	2,9

Содержание БаП в вегетативной части растений площадки № 9 составляет 7,0 нг/г, что близко к фоновому количеству поллютанта в растениях. Содержание БаП в корнях почти в 2 раза выше, чем в вегетативной части растений. Такое соотношение является самым высоким среди рассматриваемых (см. табл. 1) и показывает значительную роль корневого поглощения в накоплении БаП травянистой растительностью в условиях небольшой техногенной нагрузки.

Кроме значительной эмиссии ПАУ с выбросами предприятий, работающих на угле, заметный вклад в накопление ПАУ в окружающей среде дают выхлопные газы транспорта. В отработанных автомобильных газах идентифицировано более 60 органических соединений. Кроме 3,4 бенз(а)пирена присутствуют и другие, не менее опасные ПАУ, проявляющие высокую мутагенную и канцерогенную активность, бенз(а)антрацен, бензфлуорантен, дибензантрацен и др. [1, 14].

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, находящейся от нее в 350 м, что в свою очередь увеличивает содержание поллютанта до 14,5 нг/г в вегетативной части и 21,7 нг/г в корневой части (см. табл. 1). Превышение содержания поллютанта в растениях данной площадки отмечалось во все годы мониторинговых наблюдений [14].

Территория площадки расположена внутри V-образного пространства, огражденного двумя автомагистралями – Ростов-Москва с северо-западной стороны и Ростов-Новочеркасск с юго-восточной стороны (см. рис.). Воздух, загрязненный автомобильными выхлопами, в составе которого находится БаП, перемещается и загрязняет территорию расположения мониторинговой площадки № 10 при различных направлениях ветра. Однако накопление поллютанта за счет дополнительных источников значительно ниже, чем под влиянием НЧГРЭС.

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 (см. табл. 1), несмотря на то, что данные площадки находятся на незначительном удалении друг от друга. Такое различие в содержании БаП в растениях объясняется разным гранулометрическим составом почв дан-

ных площадок. Аллювиальная песчаная почва мониторинговой площадки № 2 содержит 5,9 % физической глины и 2,9 % ила, в то время как лугово-черноземная легкоглинистая почва площадки № 3 имеет 64,3 % физической глины и 36,8 % ила.

Процесс поглощения БАП корнями растений из почвы можно представить как произведение нескольких факторов: растворимости веществ в воде, содержания органического вещества и вида растения. Значительное влияние на аккумуляцию БАП растениями оказывает гранулометрический состав почвы. Пониженное содержание физической глины в почвенном профиле способствует миграции БАП в нижележащие слои, поскольку песчаные частицы обладают пониженной сорбционной способностью по отношению к поллютанту. Слабая степень накопления и перемещения 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 [20]. Этому способствует повышенное содержание гумуса – 4,6%. Органическое вещество почв, а именно гуминовые кислоты, способны связывать ПАУ и оказывать замедляющее воздействие на аккумуляцию БАП растениями [21].

Для площадок № 6 и 7 характерно превышение фоновых концентраций БАП в растениях в 3,0-3,3 раза.

Особое место в описании территории зоны влияния НЧГРЭС занимает мониторинговая площадка № 1. Эта площадка находится в непосредственной близости к НЧГРЭС, что обуславливает высокий уровень загрязнения БАП. Содержание поллютанта в вегетативной массе составляет 32,2 нг/г, а в корневой части – 42,3 нг/г (см. табл. 1). Помимо воздействия выбросов НЧГРЭС, в непосредственной близости к площадке № 1 проходит дорога, что обеспечивает дополнительное поступление поллютанта в растения и почвы.

Следует отметить, что содержание БАП в корнях растений на всех мониторинговых площадках выше, чем в вегетативной части. Данный факт отмечен в работах [6, 7]. 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.

Таким образом, проведенные исследования показали, что накопление БАП в исследуемом степном биоценозе происходило в результате осаждения твердых выбросов НЧГРЭС на прилегающие территории, и зависело от преобладающего направления ветров. Несмотря на природоохранные мероприятия, проводимые на предприятии, влияние атмосферных выбросов НЧГРЭС на экологическую обстановку прилегающей территории все еще остается преимущественным. Установлен еще один важный источник поступления поллютанта в растительность изучаемой территории – это выхлопные газы автотранспорта. Влияние данного дополнительного источника эмиссии является постоянным.

Литература

1. Baker, A. J. M. Accumulators- and excluders- strategies in the response of plants to heavy metals // J. of Plant Nutrit. – 1981. – N. 3. – P. 643-654. 2. Mandzhieva S.S., Minkina T.M., Sushkova S.N., Motuzova G.V., Bauer T.V.,

Chaplin V.A. The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state // American Journal of Agricultural and Biological Science. – 2014. – Vol. 9. – Issue 1. – P. 19-24. 3. Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – Vol. 144. – Issue PB. – P. 241-246. 4. Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tyurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T. New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – Vol. 144. – Part B. – P. – C. 267-272. 5. Антропогенное влияние выбросов Новочеркасской ГРЭС на окружающую среду города и окрестности ГРЭС. Отчет о НИР (НГЦЭИ и М.). – Новочеркасск, 1995. – С. 38. 6. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Чернявский В.С., и др. Формы и факторы накопления ПАУ в почвах при техногенном загрязнении (Московская область) // Почвоведение. – 2004. – №7. – С. 804-818. 7. Габов Д.Н., Безносиков В.А. Полициклические ароматические углеводороды в тундровых почвах Республики Коми // Почвоведение. – 2014. – № 1. – С. 30-38. 8. Галиуллин Р.В., Башкин В.Н. Особенности поведения стойких органических загрязнителей в системе атмосферные выпадения – растение // Агрохимия. – 1999. – № 12. – С. 69-77. 9. Горбцова О.Н., Назаренко О.Г., Минкина Т.М., Борисенко Н.И. Содержание 3,4-бенз(а)пирена в растительности, расположенной в зоне влияния НЧГРЭС // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естественные науки. – 2006. – № 3. – С. 63-66. 10. Девдариани Т.В. Биотрансформация некоторых канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в растениях: Автореф. дис. док. биол. наук. – Тбилиси, 1992. – С. 46. 11. Дурмишидзе С.В., Девдариани Т.В. и др. Усвоение 3,4-бенз(а)пирена -7,10-14С корнями однолетних растений // Растения и химические канцерогены. – Л.: Наука, 1979. – С. 87-88. 12. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояние природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 355-356. 13. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Ерохина Н.И., Григориади А.С. Накопление бенз(а)пирена в системе «почва-растение» при загрязнении нефтью и внесении активного ила // Вестник ОГУ. – №6(100). – 2009. – С. 579-581. 14. Назаренко О.Г., Горбцова О.Н., Минкина Т.М., Гусакова М.Ю., Ботаничева А.А. Результаты мониторинговых исследований содержания 3,4-бенз(а)пирена в почвах территорий зоны влияния Новочеркасской ГРЭС // Материалы III Международной научной конференции «Современные проблемы загрязнения почв». – М.: Изд-во МГУ, 2010. – С. 391-394. 15. Павлова Н.А., Дюпина И.Л. Значение растворимости бенз(а)пирена в воде для перехода его из почвы в растения. Растения и химические канцерогены. – Л.: Наука, 1979. – С. 99-100. 16. Паишков Г.Д., Зозулин Г.М. Растительность // Природные условия и естественные ресурсы. – Ростов н/Д, 1986. – С. 259-285. 17. Пенни Р.Л., Геннадиев А.Н., Касимов Н.С., Козин И.С. Полициклические ароматические углеводороды в речных отложениях как индикатор антропогенного воздействия на окружающую среду // Мониторинг фонового загрязнения природ. среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – № 7. – С. 192-203. 18. РД 52.10.556-95 Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. – М.: Росгидромет, Государственный океанографический институт, 2002. – 32 с. 19. Турусов В.С. Канцерогенное действие химических соединений // Профилактическая токсикология. Сборник учебно-методических материалов. МРПТХВ. – М., 1984. – С. 332-346. 20. Урехелидзе Д.Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических молекул в растениях. – Тбилиси: Мецниереба, 1976. – С. – 136. 21. Экологический паспорт г. Новочеркаска. Отчет о результатах крупномасштабных геохимических и радиометрических исследований экологической обстановки г. Новочеркаска, 1995. – С. 178. 22. Экология Новочеркаска. Проблемы, пути решения. – Ростов н/Д.: СКНЦВШ, 2001. – С. 412. 23. Яковлева Е. В., Безносиков В. А., Кондратенко Б. М., Габов Д. Н. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва – растения биоценозов северной тайги // Почвоведение. – 2012. – №3. – С. 356-367. 24. Ярошук А.В., Максименко Е.В., Борисенко Н.И. Разработка методики извлечения бенз(а)пирена из почв // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. – 2003. – № 9. – С. 44-46.

BENZO[A]PYRENE CONTENT IN NATURAL GRASSY VEGETATION IN THE AFFECTED ZONE OF THE NOVOCHERKASSK POWER PLANT

I.G. Tyurina¹, S.N. Sushkova¹, T.M. Minkina¹, O.G. Nazarenko², S.S. Mandzhieva¹, T.V. Bauer¹, A.V. Gimp¹, E.A. Kolina¹

¹Southern Federal University pr. Stachki, 194/1, Rostov-on-Don, 344090 Russia

²Rostovskii State Center of Agrochemical Service ul. Institutskaya 2, Rassvet, Aksai raion, Rostov oblast, 346735 Russia
e-mail: svetlana.sushkova.sfedu@gmail.com

The contamination of natural grassy vegetation with benzo[a]pyrene (one of the most toxic polycyclic aromatic hydrocarbons) in the affected zone of the Novocherkassk regional power plant has been studied. The content of benzo[a]pyrene in the green material and roots of the natural grassy vegetation in the 20-km zone around the emission source exceeded the background concentration of benzo[a]pyrene for plants by 1.4–8.7 times in the green material and by 2.7–12 times in the roots from 2008 to 2011. It is shown that the accumulation of benzo[a]pyrene in the studied area occurred because of the deposition of solid emissions from the Novocherkassk regional power plant and depended on the prevailing wind direction. Vehicle exhausts are additional sources of benzo[a]pyrene emissions in the study area.

Keywords: natural grassy vegetation, benzo[a]pyrene, contamination, emission sources.