

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ РЕСУРСОВ ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю.А. Павлова, Н.А. Дьякова, А.И. Сливкин

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Поступила в редакцию 25.02.2025 г.

Аннотация. Одними из самых опасных и повсеместно распространенных экотоксикантов являются полициклические ароматические углеводороды, ярким представителем которых является бенз(α)пирен, использующийся в качестве индикатора соединений данной группы. Актуальность определения бенз(α)пирена в лекарственном растительном сырье и препаратах на его основе ежегодно растет. Ростовская область является важным поставщиком растительного сырья не только на продовольственные, но и на фармацевтические рынки России. Поэтому экологическая оценка загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами растительных ресурсов синантропной флоры региона является актуальной и значимой задачей. Целью исследования стала экологическая оценка загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами ресурсов лекарственного растительного сырья Ростовской области. В качестве объектов исследования использовались наиболее репрезентативные виды растительного сырья, являющиеся представителями как естественных фитоценозов, так и синантропной флоры: горца птичьего трава, тысячелистника обыкновенного трава, подорожника большого листья, лопуха большого листья, лопуха большого корни. Для анализа накопления растительным сырьем экотоксикантов из почв на каждой пробной площадке отбирали пробы верхнего горизонта. Содержание в растительных образцах и пробах почв бенз(α)пирена проводили методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе «Люмахром» с флуоресцентным детектированием и программным обеспечением «Мультихром». Результаты исследования образцов растительного сырья и проб почв на количественное содержание бенз(α)пирена на примере наиболее репрезентативной площадки Ростовской области, подверженной одновременно значительным выбросам автотранспорта и загрязнению продуктами сгорания фитоценоза, показали полное экологическое благополучие почв и растительного сырья, в отношении загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами. Содержание бенз(α)пирена в изучаемых растительных и почвенных образцах лежало ниже предела обнаружения используемого оборудования и существующей методики анализа соответственно. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей разработки нормативной документации на методы количественного определения бенз(α)пирена в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах.

Ключевые слова: бенз(α)пирен, полициклические ароматические углеводороды, Ростовская область, горца птичьего трава, тысячелистника обыкновенного трава, подорожника большого листья, лопуха большого листья, лопуха большого корни.

Одной из главных проблем современности является загрязнение окружающей среды [1]. При этом одними из самых токсичных и повсеместно распространенных экотоксикантов являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [2, 3]. Это большая группа соединений, в основе структуры которых лежит бензол. В ПАУ входит несколько сотен представителей класса ароматических углеводородов, имеющих в струк-

туре 2 и более сопряженных бензольных кольца. Существует большое количество ПАУ, содержащих в кольце или боковой цепи различные функциональные группы: нитро-, amino-, сульфопроизводные, спирты, альдегиды, кетоны и др. [4, 5]. В атмосфере соединения с 2 и 3 кольцами находятся в большинстве случаев в газообразной фазе. Если в составе имеется 4 и более колец, то ПАУ находятся скорее всего в твердой фазе [6, 7].

В природе ПАУ чаще всего образуются в процессе пиролиза целлюлозы и встречаются в пластах

каменного, бурого угля и антрацита, а также как продукт неполного сгорания при лесных пожарах [8, 9]. В основе практически всех техногенных источников ПАУ находятся процессы сжигания и переработки органического сырья (нефтепродуктов, угля, древесины, мусора, пищи, табака и др.) [10, 11]. Основными техногенными источниками ПАУ являются предприятия энергетического комплекса, нефтеперерабатывающая и химическая промышленность, автотранспорт. По данным исследований, порядка 5000 тонн ПАУ ежегодно поступает в окружающую среду. Основными источниками загрязнения являются: сжигание каменного угля (61%), производство кокса (20%), сжигание леса и сельскохозяйственных культур (8%), сжигание древесины (4%), выбросы автотранспорта (1%), сжигание природного газа и нефти (0,15%). Кроме деятельности человека, ПАУ могут образовываться в результате вулканических, пирогенных, геохимических процессов. Также ПАУ синтезируются микрофлорой, растениями и дрожжами [12, 13].

Ситуация осложняется тем, что ПАУ устойчивы к окислению и разложению. В городской среде ПАУ преимущественно адсорбируются на аэрозолях сажи и пылевых частицах, в таком виде могут сохраняться месяцами и переноситься на значительные расстояния. Под действием оксидов азота атмосферы ПАУ образуют нитропроизводные, большинство из которых являются канцерогенами [14, 15].

ПАУ способны загрязнять не только атмосферу, но и гидросферу, и литосферу. ПАУ активно мигрируют по биологическим цепям. Осаждаясь из атмосферы на почву, ПАУ способны из неё переходить в растения, корма для животных, накапливаясь в мясе, яйцах, молоке, а затем попадать в пищу человека [16, 17].

Отмечен тот факт, что уровень ПАУ в почве зависит от ее типа. Почва в какой-то степени способна через собственную микрофлору самоочищаться. Самоочищению способствует ее кислотность: чем ниже pH, тем больший процент ПАУ она может разрушить. Однако следует отметить, что ПАУ, равномерно адсорбируясь на частицах почвы, имеет высокую способность вступать в соединения с другими веществами, разлагаясь или превращаясь в другие вредные соединения [1, 7, 14].

На проблему наличия ПАУ в растениях и пище обратили внимание в 60-70-х годах XX века. Взаимосвязь между уровнем загрязнения почвы ПАУ и наличием данных веществ в растениях была изучена в работах Гримера Г., Хильдербранта А., Щербака Н.П. и др. Учёные Янышева Н.Я., Грефт

В., Диль Х., Киреева И.С. также подтвердили эту взаимосвязь [16, 17].

Важным путем поступления ПАУ в растениях являются устьица. Через них ПАУ попадают в клетки и ткани, где могут накапливаться и проявлять свое отрицательное воздействие. Это происходит благодаря свойствам липофильности углеводов. Известно, что ПАУ нарушают интактность и проницаемость биологических мембран. Это связывают со следующими процессами: уменьшением количества сульфгидрильных групп; изменением соотношения ионов; нарушением исходной структуры мембран за счет перекисного окисления липидов [18, 19].

Токсичность ПАУ позволяет им воздействовать на различные процессы в растениях, особенно связанные с ростом и размножением. Так, например, выявлено, что ПАУ ингибирует как прорастание семян, так и рост вегетативных органов в длину. Данную особенность предполагают использовать в качестве теста на влияние ПАУ. Исследования ученых показывают, что флуорантен замедляет рост вегетативных органов у 25-дневной пшеницы в концентрации 5 мкмоль [20, 21].

Известно, что ПАУ нарушают структуру тилакоидных мембран, уменьшают скорость фотосинтеза, приводят к деградации фотосинтетических пигментов [22, 23]. Биоиндикатором действия ПАУ может являться снижение активности фотосистемы 2, наиболее уязвимой к агрессивным факторам. Физико-химические свойства молекулы и продолжительность воздействия определяют эффекты ПАУ. Одновременное воздействие ПАУ и других стрессовых факторов (засуха, слишком интенсивный свет и др.) потенцирует негативное влияние на состояние растений [12, 24, 25].

Накопление ПАУ в растениях во многом зависит от видовых особенностей. Например, высоким содержанием ПАУ отличаются мхи и лишайники (до 50 нг/г и более). В наземных частях высших растений концентрации ПАУ как правило не превышают 1 нг/г, но в отдельных видах могут достигать 30 нг/г (например, в капусте содержание ПАУ может достигать 15 мкг/кг, в зерне пшеницы – 1,4 мкг/кг, в томатах – 0,2 мкг/кг, а сухофруктах – 24 мкг/кг). В пищевом растительном сырье содержание ПАУ составляет 0,03–1,0 мкг/кг. Термическая обработка значительно повышает содержание ПАУ до 50 мкг/кг и более, причем решающее значение имеет технология производства. Полимерные упаковочные материалы способны значительно повышать содержание ПАУ в пищевых продуктах, осо-

бенно жиросодержащих (например, жир молока экстрагирует до 95% ПАУ из парафинобумажных пакетов или пластиковой тары) [16, 17].

ПАУ в некоторой степени способны метаболизироваться растениями. Если соединение усваивается корнями, то оно поступает в листья, где может подвергаться деструкции [26]. Данные некоторых исследований свидетельствуют о синтезе ПАУ самими растениями. Соединения стерольной природы имеются в липидах высших растений. В семенах представителей высших растений обнаружена способность к образованию бенз(а)пирена, при условии их прорастания на субстратах с углеродом [27].

Выявлено увеличение концентрации ПАУ с возрастом растения. Например, ель обыкновенная содержит минимальное количество ПАУ к 1 году жизни, а уже к 5 годам в хвое и ветвях наблюдаются максимальные значения их концентрации [19].

ПАУ представляют опасность для здоровья человека, которая заключается преимущественно в кумулятивном действии. Накапливаясь в организме человека, ПАУ вызывают ослабление защитных функций организма от ксенобиотиков и подавление иммунных сил. Поражение ПАУ приводит к высокой утомляемости, снижению работоспособности, повышенной чувствительности к инфекционным заболеваниям [3].

Одним из основных показателей токсичности ПАУ является канцерогенность. Канцерогенная активность ПАУ до 80% обусловлена бенз(а)пиреном. Поэтому именно бенз(а)пирен используют в качестве индикатора ПАУ, а его обнаружение в объекте исследования указывает на присутствие и других соединений данной группы. По содержанию бенз(а)пирена в объектах окружающей среды и пищевых продуктах контролируют уровень их загрязнения ПАУ [16, 17].

Бенз(а)пирен – вещество 1 класса опасности. Полихлорированные бифенилы контролируются

в рыбе и рыбопродуктах; бенз(а)пирен - в зерне, в копченых мясных и рыбных продуктах (таблица 1). Не допускается присутствие бенз(а)пирена в продуктах детского и диетического питания [28, 29].

Предельно допустимая концентрация бенз(а)пирена в ЛРС в настоящее время не установлена. Определение бенз(а)пирена в ЛРС на сегодняшний день также недостаточно разработано. Чаще всего для определения содержания бенз(а)пирена в объектах применяют методики ВЭЖХ, используемые для анализа объектов окружающей среды и продуктов питания. При этом актуальность определения бенз(а)пирена в ЛРС ежегодно растет. Бенз(а)пирен может быть обнаружен как в ЛРС, так и изготовленных из него лекарственных растительных препаратах (ЛРП). В связи с этим необходимо усилить контроль экологической чистоты ЛРС и ЛРП в отношении бенз(а)пирена.

Установлено, что наиболее высокий уровень бенз(а)пирена обнаружен в ЛРС, состоящем из крупных, чаще опушенных листьев (листья подорожника большого, лопуха большого, крапивы двудомной, мать-и-мачехи). Даже при увеличении расстояния от места сбора до автодороги содержание данного вещества остается выше фоновых значений в 3-8 раз. При этом в побегах и цветках содержание бенз(а)пирена также превышает фоновый уровень [16, 20, 22].

Значительная часть заготовок ЛРС происходит в европейской части России, которая характеризуется высокой плотностью населения, активной хозяйственной деятельностью, развитием автомобильных и железнодорожных магистралей. При этом, большинство эксплуатируемых ресурсов дикорастущих лекарственных растений расположено в зоне активной хозяйственной деятельности человека, на доступных в транспортном отношении территориях. В связи с этим все более актуальным становится вопрос о выявлении степени влияния

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации бенз(а)пирена в объектах окружающей среды и продуктах питания

Среда	ПДК
Воздух (среднесуточная и среднегодовая)	0,000001 мг/м ³
Воздух (рабочая зона)	0,00015 мг/м ³
Вода питьевая	0,00001 мг/л
Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий	0,02 мг/кг
Продукты мясные копченые Изделия мясные с использование субпродуктов	0,001 мг/кг
Продукты рыбные копченые	0,005 мг/кг
Зерно продовольственное	0,001 мг/кг
Мука, хлебобулочные изделия, крахмалы, крупы, макаронные изделия	0,2 мкг/кг

антропогенного воздействия на химический состав ЛРС и возможности его заготовки в различных регионах Российской Федерации [30, 31].

Ростовская область, является важным поставщиком растительного сырья не только на продовольственные, но и на фармацевтические рынки России. В связи с мощным ростом количества автомобильного транспорта и охвата железнодорожного сообщения в рамках Ростовской области, происходит сокращение площадей естественных экотопов и формирование эдафотипов растений, приспособляющихся к антропогенной нагрузке [31, 32]. Поэтому экологическая оценка загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами растительных ресурсов синантропной флоры региона является актуальной и значимой задачей.

Цель исследования - экологическая оценка загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами ресурсов лекарственного растительного сырья Ростовской области

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее репрезентативные представители как естественных фитоценозов, так и синантропной флоры, заготавливаемые преимущественно от дикорастущих особей Ростовской области. Для объективности и комплексности исследования при выборе объектов учитывали необходимость изучения видов растительного сырья, включающих разные органы или части растений. Учитывали также тот факт, что наиболее высокий уровень загрязнения экотоксикантами характерен для сырья, имеющего крупные и/или опушенные листья, большую надземную площадь поверхности, крупные подземные органы [16, 20]. Исследовали следующие растительные объекты:

- горца птичьего трава (*Polygoni avicularis herba*);
- тысячелистника обыкновенного трава (*Achilleae millefolii herba*);
- подорожника большого листья (*Plantaginis majoris folia*);
- лопуха большого листья (*Arctii folia*);
- лопуха большого корни (*Arctii radices*).

Для анализа накопления растительным сырьем экотоксикантов из почв на каждой пробной площадке отбирали пробы верхнего горизонта (10-12 см от поверхности).

Для отбора образцов была выбрана наиболее репрезентативная площадка, характеризующаяся наивысшими рисками загрязнения ПАУ. Образцы растительного сырья и пробы почв заготавлива-

ли вдоль федеральной трассы М4 «Дон» IА категории с интенсивностью движения более 14000 единиц в сутки. Летом 2010 года изучаемая флора придорожной территории была подвержена ландшафтными пожарами, общей площадью более 700 га, подходящая вплотную к федеральной трассе. Повторение ландшафтных пожаров в придорожной зоне, однако, меньшего масштаба, происходило и в более поздние периоды (2016, 2020 гг.). Таким образом изучаемая территория подвергалась сразу двум значительным факторам риска загрязнения бенз(а)пиреном: выбросы автотранспорта и продукты сгорания фитоценоза.

Заготовку растительных образцов проводили в соответствии с фармакопейными требованиями и принципами GACP в 2023 году в сухую погоду. Травы горца птичьего, полыни горькой, а также листья подорожника большого и лопуха большого в начале цветения производящих растений, срезая их ножницами или ножом. Корни лопуха большого заготавливали в конце сентября: выкапывали, отмывали от земли, разрезали на куски. Сушку растительного сырья проводили естественным теневым способом при хорошей вентиляции. Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта с помощью лопатки.

Содержание в растительных образцах и пробах почв наиболее опасного ПАУ – бенз(а)пирена – проводили методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе «Люмахром» с флуоресцентным детектированием и программным обеспечением «Мультихром». В качестве подвижной фазы использовали смесь ацетонитрил : вода = 8 :2, скорость подачи 0,20 мл/мин, колонка Kromasil C18, размер 2,1*150 мм. Исследования проводили в соответствии с ГОСТ Р 51650-2000 «Продукты пищевые. Методы определения массовой доли бенз(а)пирена» (растительные образцы), и ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3:3.39-2003 «Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли бенз(а)пирена в пробах почв, грунтов, твердых отходов, донных отложений, осадках сточных вод методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с флуоресцентным детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром» (почвенные пробы).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования образцов растительного сырья и проб почв на количественное содержание наиболее опасного полициклического ароматического экотоксиканта – бенз(а)пирена – приведены в таблице 2.

Результаты количественного определения в образцах растительного сырья и пробах почв Ростовской области бенз(а)пирена

Образец	Количественное содержание бенз(а)пирена, мг/кг	Предельно допустимая концентрация, мг/кг
Горца птичьего трава (<i>Polygoni avicularis herba</i>)	<0,0001	-
Тысячелистника обыкновенного трава (<i>Achilleae millefolii herba</i>)	<0,0001	-
Подорожника большого листья (<i>Plantaginis majoris folia</i>)	<0,0001	-
Лопуха большого листья (<i>Arctii folia</i>)	<0,0001	-
Лопуха большого корни (<i>Arctii radices</i>)	<0,0001	-
Почвенная проба	<0,005	0,02 мг/кг

Результаты проведенного исследования показали полное экологическое благополучие почв Ростовской области, а также растительного сырья, в отношении загрязнения ПАУ. Содержание бенз(а)пирена в ЛРС наиболее подверженной загрязнению ПАУ учетной площадки на территории региона, изученное на примере пяти репрезентативных растительных объектов, не превышает нижних пределов диапазона определения жидкостного хроматографа «Люмахром». Результаты испытания почвенной пробы показали соответствие нормативных требований по содержанию ПАУ: концентрация бенз(а)пирена была менее нижнего предела количественного определения методики, предусмотренной нормативной документацией на метод испытания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПАУ представляют собой одни из самых опасных, устойчивых к разложению и кумулятивных экотоксикантов. Концентрация бенз(а)пирена является показателем, определяющим присутствие других канцерогенных ПАУ. Предельно допустимая концентрация бенз(а)пирена в ЛРС в настоящее время не установлена. Между тем, проблема исследования ЛРС и ЛРП по показателю загрязнения ПАУ ежегодно растет. Результаты исследования образцов растительного сырья и проб почв на количественное содержание бенз(а)пирена на примере наиболее репрезентативной площадки Ростовской области, подверженной одновременно значительным выбросам автотранспорта и загрязнению продуктами сгорания фитоценоза, показали полное экологическое благополучие почв и ЛРС, в отношении загрязнения ПАУ. Содержание бенз(а)пирена в изучаемых образцах ЛРС и почв лежало ниже предела обнаружения используемого оборудования и существующей методики анализа соответственно. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей разработки нормативной документации на методы количественного определения бенз(а)пирена в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мокиенко А.В. Характеристика антропогенного загрязнения пелоидов Шаболатского (Будакского) лимана полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) / А.В. Мокиенко, Е.М. Никипелова, К.К. Цимбалюк // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2012. – № 4. – С. 40–47.
2. Мамбеталиева Ч.Ш. Источники возникновения полиароматических углеводородов и пути их распространения в объектах окружающей среды и пищевых продуктах (аналитический обзор) / Ч.Ш. Мамбеталиева // Медицина Кыргызстана. – 2009. – № 3. – С. 47–52.
3. Пирожкова А.А. Полиароматические углеводороды: влияние на окружающий мир и человека / А.А. Пирожкова // Молодежный научно-технический вестник. Электронный журнал. – 2014. – № 9. – С. 21–26.
4. Яковлева Е.В. Биоаккумуляция полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растение / Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко, Д.Н. Габов, М.И. Василевич // Агрехимия. – 2008. – № 9. – С. 66–74.
5. Яковлева Е.В. Закономерности биоаккумуляции полициклических ароматических углеводородов в системе почва-растения биоценозов северной тайги / Е.В. Яковлева, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко, Д.Н. Габов // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 356–367.
6. Смола В.И. ПАУ в окружающей среде: проблемы и решения: в 2 частях. Часть 1. / В.И. Смола. – Москва: Полиграф сервис, 2013. – 383 с.
7. Эстина Г.И. Мониторинг бенз(а)пирена в различных объектах окружающей среды Башкортостана / Г.И. Эстина, О.М. Шеляков, Ф.Ф. Хизбуллин // Медицина труда и промышленной экологии. – 1997. – №8. – С. 35–37.
8. Сычик С.И. Гигиеническая характеристика уровней контаминации полициклическими ароматическими углеводородами пищевой продукции / С.И. Сычик, Н.А. Долгина, Е.В. Федоренко, Л.Л.

- Бельшева // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98. – № 7. – С. 771–776.
9. Габов Д.Н. Закономерности формирования полициклических ароматических углеводородов в почвах северной и средней тайги / Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко, Е.В. Яковлева // Почвоведение. – 2008. – № 11. – С. 1334–1343.
10. Геннадиев А.Н. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор). / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, А.С. Цибарт, М.А. Смирнова // Почвоведение. – 2015. – № 10. – С. 1195–1209.
11. Михайлова Т.А. Оценка токсичности полициклических ароматических углеводородов для растений / Т.А. Михайлова, В.Н. Шмаков, Е.Н. Тараненко // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2013. – Т. 6. – № 2. – С. 27–33.
12. Ланкин А.В. Влияние нафталина на фотохимическую активность фотосистемы 2 / А.В. Ланкин, В.Д. Креславский, А.Ю. Худякова, С.К. Жармухамедов, С.И. Аллахвердиев // Биохимия. – 2014. – Т. 79. вып. 11. – С. 1493–1504.
13. Schulz C. M. Occurrence of 15 + 1 EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in various types of tea (*Camellia sinensis*) and herbal infusions / C. M. Schulz, H. Fritz, A. Ruthenschror // Food Additives & Contaminants: Part A. – 2014. – №31. – P. 1723–1735.
14. Белых Л.И. Количественное определение бенз(а)пирена в почвах с помощью низкотемпературной люминисценции / Л.И. Белых, А.Н. Киреева, А.Н. Смагунова, Ю.М. Малых, Э.Э. Пензина // Аналитика и контроль. – 2000. – Т.4. – №1. – С. 24–30.
15. Крамер Д. А. Качественная идентификация ПАУ в донных отложениях городских рек / Д.А. Крамер, К.В. Федорова // Успехи в химии и химической технологии. – 2013. – №8. – С. 125–128.
16. Фармацевтическая экология. Учебник для вузов. 5 изд, стер. / Н.А. Дьякова С.П. Гапонов, А.И. Сливкин. – СПб: Лань, 2024. — 288 с.
17. Гигиена и экология человека. Учебник для вузов / Н.А. Дьякова, С.П. Гапонов, А.И. Сливкин – СПб: Лань, 2023. — 300 с.
18. Яковлева Е.В. Влияние бенз[а]пиренового загрязнения на ростовые процессы и состав полиаренов растений / Е.В. Яковлева, Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко // Теоретическая и прикладная экология. – 2015. – №4. – С. 45–51.
19. Горшков А.Г. Определение полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – биомониторинг загрязнения атмосферы / А. Г. Горшков // Журнал аналитической химии. – 2008. – Т. 63. – № 8. – С. 880–886.
20. Белых Л.И. Мониторинг и оценка влияния бенз(а)пирена на хвойные и лиственные растения в зонах антропогенного загрязнения / Л.И. Белых, Н.Ю. Полей // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. – Т. 6. – № 3 (23). – С. 240–250. DOI: 10.21285/2500-1582-2021-3-240-250
21. Белых Л. И. Закономерности распределения бенз(а)пирена в системе почва-растение / Л.И. Белых, И.А. Рябчикова, В.А. Серышев // Агрохимия. – 2005. – № 1. – С. 60–71.
22. Simonich S.L. Organic pollutant accumulation in vegetation / Simonich S.L., Hites R.A. // Environ. Sci. & Technology. – 1995. – Vol. 29, № 12. – P. 2905–2914.
23. Huang X.D. A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils/Huang X.D., El-Alawi Y., Penrose D.M., Glick B.R., Greenberg B.M. // Environmental Pollution. – 2004. –Vol. 130. – P. 465–476.
24. Gao Y. Z. Phytoremediation for phenanthrene and pyrene contaminated soil / Gao Y. Z., Zhu L. Z. // Journal of Environmental Sciences. – 2005. – Vol. 17. – № 1. – P. 14–18.
25. Xu S. Y. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation / Xu S. Y., Chen Y. X., Wu W. X., Wang K. X., Lin Q., Liang X. Q. // Science of the Total Environment. – 2006. – Vol. 369. – Iss. 1–3. – P. 206–215. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.05.030
26. Meudec A. Evidence for bioaccumulation of PAHs within internal shoot tissues by a halophytic plant artificially exposed to petroleum-polluted sediments / Meudec A., Dussauze J., Deslandes E., Poupart N. // Chemosphere. – 2006. – Vol. 65. – P. 73–79
27. Kreslavski V. D. Effects of polyaromatic hydrocarbons on photosystem II activity in pea leaves / Kreslavski V. D., Lankin A. V., Vasilyeva G. K., Luybimov V. Yu., Semenova G. N., Schmitt F. J., Friedrich T., Allakhverdiev S. I. // Plant Physiol. Biochem. – 2014. – Vol. 81. – P. 135–142.
28. Постановление от 28.01.2021 г. №2 об утверждении СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». - Москва, 2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (Дата обращения: 17.03.2025).
29. Постановление от 14.11.2001 г. №36 об утверждении СанПин 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». - Москва, 2001. – URL:

<https://base.garant.ru/4178234/> (Дата обращения: 17.03.2025).

30. Селиванова Ю.А. Изучение содержания посторонних минеральных примесей в лекарственном растительном сырье синантропной флоры Ростовской области / Ю.А. Селиванова, Н.А. Дьякова, А.А. Вервикина, А.И. Сливкин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. - 2022. - №2. - С. 90-95.

31. Селиванова Ю.А. Исследование общего минерального комплекса лекарственного растительного сырья синантропной флоры Ростовской области

/ Ю.А. Селиванова, Н.А. Дьякова, А.И. Сливкин, А.А. Вервикина // Вестник Смоленской медицинской академии. – 2022. – Т. 21, №4. - с. 205-210. DOI: 10.37903/vsgma.2022.4.28

32. Селиванова Ю.А. Изучение особенностей накопления флавоноидов травой тысячелистника обыкновенного синантропной флоры Ростовской области / Ю.А. Селиванова, Н.А. Дьякова, А.И. Сливкин, А.А. Вервикина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2023. - №3. – с. 107-113.

Воронежский государственный университет
**Павлова Юлия Александровна, ассистент*
кафедры фармацевтической технологии фармацевтического факультета

E-mail: u.a.selivanova@yandex.ru

Дьякова Нина Алексеевна, д.ф.н., доц. каф.
фармацевтической технологии фармацевтического факультета

E-mail: ninochka_v89@mail.ru

Сливкин Алексей Иванович, д.фарм.н., проф.,
зав. каф. фармацевтической технологии

E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

Voronezh State University
**Pavlova Yulia A., Assistant Professor,*
Department of Pharmaceutical Technology of the
Pharmaceutical Faculty

e-mail: u.a.selivanova@yandex.ru

Dyakova Nina A., PhD, Associate Professor,
Department of Pharmaceutical Technology of the
Pharmaceutical Faculty

E-mail: Ninochka_V89@mail.ru

Slivkin Alexsey Y., PhD, DSci., Full Professor,
Head of the pharmaceutical technology department

E-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS POLLUTION OF MEDICINAL PLANT RESOURCES IN ROSTOV REGION

Y.A. Pavlova, N.A. Dyakova, A.I. Slivkin

Voronezh State University

Abstract. Some of the most toxic and ubiquitous ecotoxicants are polycyclic aromatic hydrocarbons. One of the most toxic and widespread polycyclic aromatic hydrocarbons is benz(α)pyrene, which is used as an indicator of compounds of this group. The relevance of the definition of benz(α)pyrene in medicinal plant raw materials and preparations based on it is growing annually. The Rostov region is an important supplier of plant raw materials not only to food, but also to the pharmaceutical markets of Russia. Therefore, an environmental assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination of plant resources of the synanthropic flora of the region is an urgent and significant task. The purpose of the study was an environmental assessment of the pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons of the resources of medicinal plant raw materials of the Rostov region. The most representative types of plant raw materials were used as objects of research, which are representatives of both natural phytocenoses and synanthropic flora: highlander bird grass, yarrow common grass, plantain large leaves, burdock large leaves, burdock large roots. To analyze the accumulation of ecotoxicants by plant raw materials, samples of the upper horizon were taken from the soils at each test site. The content of benz(α)pyrene in plant samples and soil samples was carried out by HPLC on a Lumachrome liquid chromatograph with fluorescence detection and Multichrome software. The results of the study of samples of plant raw materials and soil samples for the quantitative content of benz(α)pyrene on the example of the most representative site of the Rostov region, which is subject to

both significant emissions of vehicles and pollution by combustion products of phytocenosis, showed the complete environmental well-being of soils and plant raw materials in relation to pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons. The content of benz(α)pyrene in the studied plant and soil samples was below the detection limit of the equipment used and the existing analytical procedure, respectively. The obtained results can be used for further development of regulatory documentation for methods of quantitative determination of benz(α)pyrene in medicinal plant raw materials and medicinal plant preparations.

Keywords: benz(α)pyrene, polycyclic aromatic hydrocarbons, Rostov region, highlander bird grass, yarrow common grass, plantain large leaves, burdock large leaves, burdock large roots.

REFERENCES

1. Mokienko A.V. Characterization of anthropogenic pollution of the peloids of the Shabolatsky (Budaksky) estuary with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) / A.V. Mokienko, E.M. Nikipelova, K.K. Tsimbalyuk // Actual problems of transport medicine. – 2012. – No. 4. – P. 40–47.
2. Mambetalieva Ch.Sh. Sources of polyaromatic hydrocarbons and their distribution routes in environmental objects and food products (analytical review) / Ch.Sh. Mambetalieva // Medicine of Kyrgyzstan. – 2009. – No. 3. – P. 47–52.
3. Pirozhkova A.A. Polyaromatic hydrocarbons: impact on the world and humans / A.A. Pirozhkova // Youth Scientific and Technical Bulletin. Electronic journal. – 2014. – No. 9. – P. 21–26.
4. Yakovleva E.V. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant system / E.V. Yakovleva, V.A. Beznosikov, B.M. Kondratenok, D.N. Gabov, M.I. Vasilevich Agrochemistry. – 2008. – No. 9. – P. 66–74.
5. Yakovleva E.V. Patterns of bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil-plant system of biocenoses of the northern taiga / E.V. Yakovleva, V.A. Beznosikov, B.M. Kondratenok, D.N. Gabov // Soil science. – 2012. – No. 3. – P. 356–367.
6. Smola, V.I. PAH in the environment: problems and solutions: in 2 parts. Part 1. / V.I. Smola. – Moscow: Poligraf servis, 2013. – 383 p.
7. Estina G.I. Monitoring of benz (a) pyrene in various environmental objects of Bashkortostan / G.I. Estina, O.M. Shelyakov, F.F. Medicine of labor and industrial ecology. – 1997. – No. 8. – P. 35–37.
8. Sychik S.I. Hygienic characteristics of levels of contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons of food products / S.I. Sychik, N.A. Dolgina, E.V. Fedorenko, L.L. Belysheva // Hygiene and sanitation. – 2019. – Vol. 98. – No 7. – P. 771–776.
9. Gabov D.N. Patterns of formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of the northern and middle taiga / D.N. Gabov, V.A. Beznosikov, B.M. Kondratenok, E.V. Yakovleva // Soil science. – 2008. – No. 11. – P. 1334–1343.
10. Gennadiev A.N. Hydrocarbons in soils: origin, composition, behavior (review) / A.N. Gennadiev, Yu.I. Pikovskii, A.S. Tsibart, M.A. Smirnova // Soil science. – 2015. – No. 10. – P. 1195–1209.
11. Mikhailova T.A. Assessment of toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons for plants / T.A. Mikhailova, V.N. Shmakov, E.N. Taranenko // Izvestia of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology. – 2013. – Vol. 6. – No. 2. – P. 27–33.
12. Lankin A.V. Influence of naphthalene on photochemical activity of photosystem 2 / A.V. Lankin, V.D. Kreslavskii, A.Yu. Khudyakova, S.K. Zharmukhamedov, S.I. Allakhverdiev // Biochemistry. – 2014. – Vol. 79. – No. 11. – P. 1493 – 1504.
13. Schulz, C. M., Fritz H., Ruthenschror A. Occurrence of 15 + 1 EU priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in various types of tea (*Camellia sinensis*) and herbal infusions // Food Additives & Contaminants: Part A. - 2014. – No. 31. - P. 1723-1735.
14. Belykh L.I. Quantification of benz (a) pyrene in soils using low-temperature luminescence / L.I. Belykh, A.N. Kireeva, A.N. Smagunova, Yu.M. Malykh, E.E. Penzina // Analytics and control. – 2000. - Vol.4. – No. 1. – P. 24–30.
15. Kramer D.A. Qualitative identification of PAHs in bottom sediments of urban rivers/ D.A. Kramer, K.V. Fedorova // Successes in chemistry and chemical technology. – 2013. – No.8. – P. 125–128.
16. Pharmaceutical Ecology. Textbook for universities. 5th ed., Erased/ N.A. D'yakova S.P. Gaponov, A.I. Slivkin. – St. Petersburg : Lan', 2024. - 288 p.
17. Hygiene and human ecology. Textbook for universities / N.A. D'yakova, S.P. Gaponov, A.I. Slivkin – St. Petersburg : Lan', 2023. - 300 p.
18. Yakovleva E.V. Influence of benz [a] pyrene pollution on growth processes and composition of plant polyarenes / E.V. Yakovleva, D.N. Gabov, V.A. Beznosikov, B.M. Kondratenok // Theoretical and Applied Ecology. – 2015. – No. 4. – P. 45-51.
19. Gorshkov A.G. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in pine needles (*Pinus sylvestris* L.) - a biomonitor of atmospheric pollution / A. G. Gorshkov // Analytical Chemistry. – 2008. – Vol. 63. – No. 8. – P. 880–886.

20. Belykh L.I. Monitoring and assessment of the impact of benz (a) pyrene on coniferous and deciduous plants in zones of anthropogenic pollution / L.I. Belykh, N.Yu. Polei // XXI century. Technosphere safety. – 2021. – Vol. 6. – No. 3 (23). – P. 240–250. DOI: 10.21285/2500-1582-2021-3-240-250
21. Belykh L. I. Patterns of distribution of benz (a) pyrene in the soil-plant system / L.I. Belykh, I.A. Ryabchikova, V.A. Seryshev // Agrochemistry. – 2005. – No. 1. – P. 60–71.
22. Simonich S.L. Organic pollutant accumulation in vegetation / Simonich S.L., Hites R.A. // Environ. Sci. and Technology. – 1995. – Vol. 29. – No 12. – P. 2905–2914.
23. Huang X.D. A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils / Huang X.D., El-Alawi Y., Penrose D.M., Glick B.R., Greenberg B.M. // Environmental Pollution. – 2004. – Vol. 130. – P. 465–476.
24. Gao Y. Z. Phytoremediation for phenanthrene and pyrene contaminated soil / Gao Y. Z., Zhu L. Z. // Journal of Environmental Sciences. – 2005. – Vol. 17. – No. 1. – P. 14–18.
25. Xu S. Y. Enhanced dissipation of phenanthrene and pyrene in spiked soils by combined plants cultivation / Xu S. Y., Chen Y. X., Wu W. X., Wang K. X., Lin Q., Liang X. Q. // Science of the Total Environment. – 2006. – Vol. 369. – No. 1–3. – P. 206–215. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.05.030
26. Meudec A. Evidence for bioaccumulation of PAHs within internal shoot tissues by a halophytic plant artificially exposed to petroleum-polluted sediments / Meudec A., Dussauze J., Deslandes E., Poupart N. // Chemosphere. – 2006. – Vol. 65. – P. 73–79
27. Kreslavski V. D. Effects of polyaromatic hydrocarbons on photosystem II activity in pea leaves / Kreslavski V. D., Lankin A. V., Vasilyeva G. K., Luybimov V. Yu., Semenova G. N., Schmitt F. J., Friedrich T., Allakhverdiev S. I. // Plant Physiol. Biochem. – 2014. – Vol. 81. – P. 135–142.
28. Resolution No. 2 of 28.01.2021 approving SanPin 1.2.3685-21 "Hygienic Standards and Requirements for Ensuring the Safety and (or) Harmlessness of Habitat Factors for Humans." - Moscow, 2021. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (Accessed: 17.03.2025).
29. Resolution No. 36 of 14.11.2001 approving SanPin 2.3.2.1078-01 "Hygienic Requirements for the Safety and Nutritional Value of Food Products." - Moscow, 2001. - URL: <https://base.garant.ru/4178234/> (Accessed: 17.03.2025).
30. Selivanova Yu.A. Study of content of foreign mineral impurities in medicinal plant raw materials of synanthropic flora of Rostov region / Yu.A. Selivanova, N.A. D'yakova, A.A. Vervikina, A.I. Slivkin // Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. - 2022. – No. 2. - P. 90-95.
31. Selivanova Yu.A. Study of the general mineral complex of medicinal plant raw materials of synanthropic flora of the Rostov region / Yu.A. Selivanova, N.A. D'yakova, A.I. Slivkin, A.A. Vervikina // Bulletin of the Smolensk Medical Academy. – 2022. – Vol. 21, No. 4. - P. 205-210. DOI: 10.37903/vsgma.2022.4.28
32. Selivanova Yu.A. Study of the peculiarities of flavonoids accumulation by yarrow grass of the common synanthropic flora of the Rostov region / Yu.A. Selivanova, N.A. D'yakova, A.I. Slivkin, A.A. Vervikina // Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. – 2023. – No. 3. – P. 107-113.