



**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<https://ecopri.ru>

**№ 3 (45). Сентябрь, 2022**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов  
Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. М. Макаров

**Редакционная  
коллегия**

Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev  
B. Krasnov  
A. Gugolek  
В. К. Шитиков  
В. Н. Якимов

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: [ecopri@petsu.ru](mailto:ecopri@petsu.ru)

<https://ecopri.ru>





УДК 57.044; 504.054; 631.4

## ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ БЕНЗ[А]ПИРЕНОМ

**СКУГОРЕВА**  
Светлана  
Геннадьевна

кандидат биологических наук, Институт биологии Коми  
НЦ УрО РАН (167982, Россия, Республика Коми, г.  
Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28),  
[skugoreva@mail.ru](mailto:skugoreva@mail.ru)

**ДОМРАЧЕВА**  
Людмила Ивановна

доктор биологических наук, Вятский государственный  
агротехнологический университет (610017, Россия, г.  
Киров, Октябрьский пр., д. 133), [dli-alga@mail.ru](mailto:dli-alga@mail.ru)

**КУТЯВИНА**  
Татьяна Игоревна

кандидат биологических наук, Вятский государственный  
университет (610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д.  
36), [kutyavinati@gmail.com](mailto:kutyavinati@gmail.com)

**АБДУХАЛЛИЛОВ**  
Олим Мусурмон  
угли

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН  
(119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр., д. 47),  
[alimbay.1998@mail.ru](mailto:alimbay.1998@mail.ru)

**ЗАБУБЕНИНА**  
Юлия Сергеевна

Вятский государственный агротехнологический  
университет (610017, Россия, г. Киров, Октябрьский пр., д.  
133), [candyman30@mail.ru](mailto:candyman30@mail.ru)

**АШИХМИНА**  
Тамара Яковлевна

доктор технических наук, Вятский государственный  
университет (610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д.  
36), [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru)

### Ключевые

#### слова:

полициклические  
ароматические  
углеводороды,  
бенз[а]пирен,  
токсичность,  
кресс-салат,  
почвенные  
микроорганизмы,  
биотестирование

### Получена:

06 июля 2022  
года

### Подписана к печати:

05 октября 2022  
года

**Аннотация.** Проведен модельный эксперимент по оценке токсичности дерново-подзолистой почвы, искусственно загрязненной бенз[а]пиреном (БП) в дозах 10 и 20 ПДК. Установлено, что снижение накопления биомассы корнями растений кресс-салата начинает проявляться только при содержании БП 20 ПДК. Внесение в почву БП приводит к увеличению содержания малонового диальдегида в побегах растений, что свидетельствует об интенсификации процессов перекисного окисления липидов в условиях окислительного стресса. В присутствии БП показана неоднозначность размножения почвенных микроорганизмов. Самой чувствительной группой к данному поллютанту оказались аммонификаторы, которые можно считать индикаторной группой организмов на загрязнение почвы БП. Чувствительной по отношению к БП проявила себя и бактериальная тест-система «Эколюм». Таким образом, почва, загрязненная 20 ПДК БП, является токсичной для таких групп почвенных микроорганизмов, как аммонификаторы и азотфиксаторы, для проростков кресс-салата и тест-системы «Эколюм».

## Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) относятся к высоко опасным для человека поллютантам (Ifegwu, Anyakora, 2015). Они образуются при сжигании и переработке нефтепродуктов, угля, древесины, бытовых отходов и др. Чаще всего показателем присутствия ПАУ в окружающей среде служит бенз[а]пирен (БП). Он является канцерогеном, мутагеном, токсикантом 1-го класса опасности. Предельно допустимая концентрация (ПДК) БП в почве составляет 20 нг/г (СанПин 1.2.3685-21), для растений ПДК БП и других ПАУ не установлены.

Растения способны поглощать, аккумулировать, синтезировать и участвовать в деградации ПАУ (Яковлева, Габов, 2019). При действии поллютантов у растений возникает неспецифическая ответная реакция – окислительный стресс. Переокисление липидов (ПОЛ) – цепной процесс свободнорадикального окисления, в ходе которого изменяется структура биомолекул, происходит инактивация ферментов, образуются дефекты в липидном слое мембран. В результате ПОЛ образуется малоновый диальдегид (МДА).

Ранее (Абдухалилов, Скугорева, 2019) нами было показано, что БП в дозе 10 ПДК приводил к усилению процессов ПОЛ и снижению накопления фотосинтетических пигментов у 15-суточных растений ячменя при выращивании на гидропонике. В работе (Яковлева и др., 2015) выявлено, что загрязнение песчаного субстрата 0.5–2 ПДК БП приводило к уменьшению всхожести семян до 80 %, снижению высоты и биомассы 30-суточных растений ячменя до 3.6 раза. При внесении в почву 2 ПДК БП наблюдали ростстимулирующий эффект: усиление накопления биомассы проростками, увеличение длины корня, снижение интенсивности ПОЛ в побегах проростков полевого гороха (Скугорева и др., 2021a). В ризосфере растений отмечается высокая активность микроорганизмов, способных использовать ПАУ в качестве единственного источника углерода и энергии (Gałązka, Grządziel, 2016). Известно, что в результате загрязнения ПАУ значительно изменяется структура почвенных бактериальных сообществ (Ажогина и др., 2020). Повышенное содержание ПАУ в городских почвах, особенно вблизи автодорог, может приводить к изменению в структуре микробных комплексов (Скугорева и др., 2021b). В модельном опыте внесение 1 и 2 ПДК БП приводило к снижению численности почвенных микроорганизмов (Скугорева и др., 2021a).

Целью работы было оценить токсичность почвы, загрязненной бенз[а]пиреном, по влиянию на проростки кресс-салата, почвенную микробиоту, простейших *Paramecium caudatum* и бактериальную тест-систему «Эколюм».

## Материалы

Модельный эксперимент выполняли с использованием почвы, отобранной с агроучастка на территории Кирово-Чепецкого района Кировской области, на которой преобладают дерново-подзолистые почвы. Отбор почвы проводили из верхнего слоя (0–15 см). Почва имела нейтральную ( $pH_{H_2O} 6.5 \pm 0.1$ ) или близкую к нейтральной реакцию ( $pH_{KCl} 5.6 \pm 0.1$ ). Содержание органического вещества составило  $1.20 \pm 0.20$  %, что характеризует почву как малогумусную. Обеспеченность почвы нитратным азотом для растений низкая ( $2.60 \pm 0.30$  мг  $NO_3^-$ /кг); фосфором ( $72.6 \pm 3.5$  мг  $P_2O_5$ /кг) и калием ( $81 \pm 12$  мг  $K_2O$ /кг) – средняя. Концентрация БП в почве была ниже предела обнаружения метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (МУК 4.1.1274-03..., 2003).

## Методы

Предварительно почву подсушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с размером ячейки 1 мм. В чашки Петри насыпали почву массой 40.0 г. Бенз[а]пирен вносили в дозах 0.2 и 0.4 мкг/г почвы, что соответствовало 10 и 20 ПДК БП, в виде водного раствора, приготовленного из ГСО БП (7515-98 МСО 0184:2000). Контрольный вариант – без внесения БП. Повторность в опыте

трехкратная. После внесения в почву БП проводили посев семян кресс-салата по 30 шт. на чашку Петри. Затем чашки помещали в климатическую камеру, где осуществляли контроль фотопериода: день (12 ч) / ночь (12 ч). Температура на протяжении всего опыта составляла  $20 \pm 2$  °С. Полив растений осуществляли регулярно дистиллированной водой из расчета 60 % от полной влагоемкости почвы. Эксперимент длился 10 суток.

На 8-е сутки от момента посадки определяли всхожесть семян (ГОСТ 12038-84). После окончания опыта (на 11-е сутки) растения извлекали из почвы, измеряли высоту побега и длину корня, а также их сырую биомассу. Содержание МДА определяли в побегах проростков в трехкратной повторности. Накопление МДА – спектрофотометрическим методом ( $\lambda = 532$  нм) по окраске вытяжки из свежих растительных тканей после 30 мин кипячения на водяной бане с 0.5 % раствором тиобарбитуровой кислоты в 20 % трихлоруксусной кислоте (Лукаткин, Голованова, 1988).

Численность микроорганизмов в почве высчитывали методом предельных разведений на селективных питательных средах в трехкратной повторности: аммонификаторы (ГРМ-агар), азотфиксаторы (среда Эшби) и грибы (среда Чапека).

Острую токсичность проб почв определяли с использованием бактериальной тест-системы «Эколюм» и простейших *Paramecium caudatum*. Первый метод основан на измерении интенсивности биолюминесценции препарата лиофилизированных бактерий *Escherichia coli*. Подготовку и тестирование проб почвы проводили в соответствии с методикой ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04, Т 16.1:2.3:3.8-04. Методика предполагает три пороговых уровня индекса токсичности ( $T$ ): 1) допустимая степень токсичности образца при  $T < 20$ ; 2) образец токсичен при  $20 \leq T < 50$ ; 3) образец сильно токсичен при  $T \geq 50$ . Второй метод основан на хемотаксической реакции инфузорий *P. caudatum*. Согласно ФР.1.39.2015.19243, количественная оценка токсичности выражается в виде индекса токсичности ( $T$ ), по величине которого анализируемые пробы делятся на три группы: I) допустимая степень токсичности ( $0.00 < T \leq 0.40$ ); II) умеренная степень токсичности ( $0.41 < T \leq 0.70$ ); III) высокая степень токсичности ( $T > 0.71$ ).

В таблицах приведены средние арифметические значения и ошибки средних. Достоверность расхождений средних арифметических значений с контролем устанавливали при помощи  $t$ -критерия Стьюдента.

## Результаты

В ходе исследования установлено, что в присутствии БП в почве в дозах 10 и 20 ПДК всхожесть семян кресс-салата составила 94.4 и 93.3 %, что практически не отличалось от значения в контроле (94.4 %). Внесение БП в почву не оказывало влияния на ростовые параметры проростков кресс-салата: длину корня и высоту побега (рис. 1).

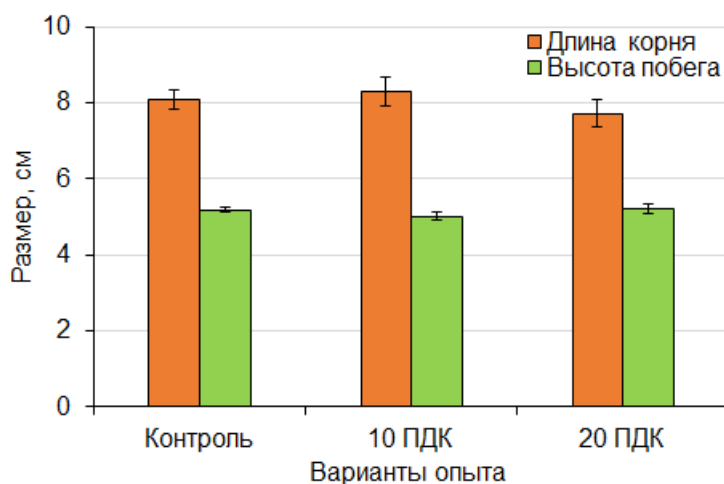


Рис. 1. Ростовые параметры проростков кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена

Fig. 1. Growth parameters of garden cress seedlings when various doses of benz[a]pyrene are introduced into the soil

Кроме линейных параметров, у растений измеряли биомассу (рис. 2). Выявлено, что в варианте опыта с дозой 20 ПДК БП происходило достоверное снижение накопления сырой биомассы корнями. Значение сырой биомассы корней в данном варианте составило  $10.0 \pm 0.8$  мг на одно растение, что в 1.47 раза ниже значения для растений в контроле ( $14.7 \pm 0.7$  мг / растение).

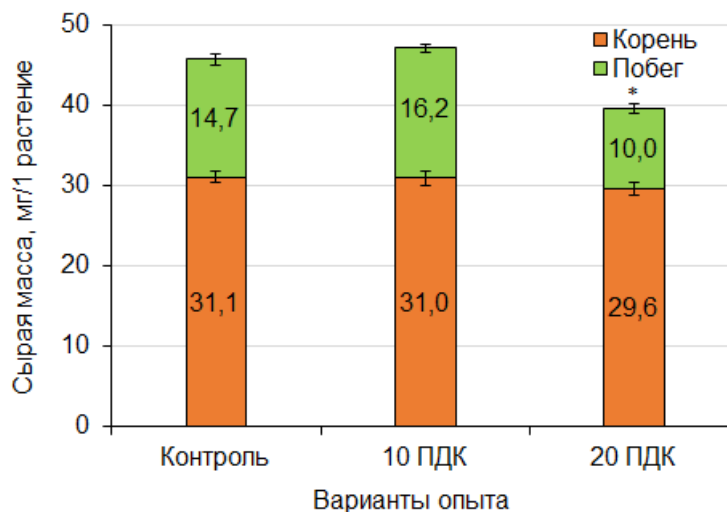


Рис. 2. Биомасса проростков кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена. \* - различия с контролем достоверны при  $p < 0.05$

Fig. 2. Biomass of garden cress seedlings after application of various doses of benz[a]pyrene to the soil. \* - differences with the controls are significant at  $p < 0.05$

Наиболее чувствительным параметром к действию БП оказалось накопление МДА растениями кресс-салата. Внесение в почву данного ПАУ в дозах 10 и 20 ПДК приводило к увеличению содержания МДА в побегах растений в 1.69 и 1.60 раза по сравнению с контролем соответственно (рис. 3).

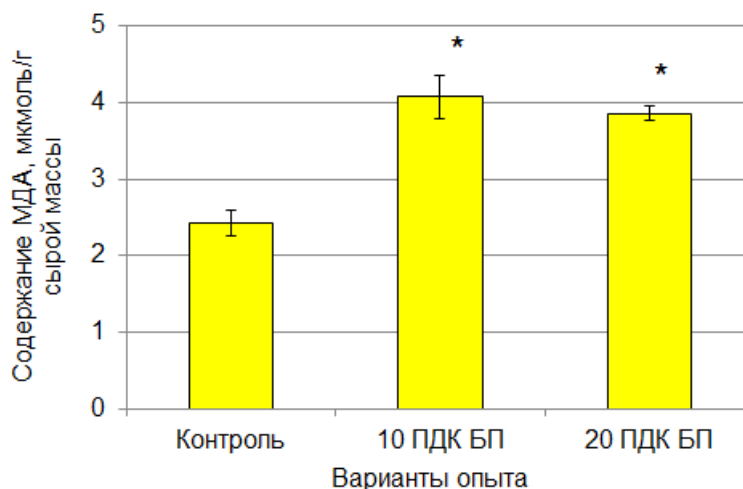


Рис. 3. Накопление МДА в побегах растений кресс-салата при внесении в почву различных доз бенз[а]пирена. \* - различия с контролем достоверны при  $p < 0.01$

Fig. 3. Accumulation of MDA in shoots of garden cress plants when various doses of benz[a]pyrene are introduced into the soil. \* - differences with the controls are significant at  $p < 0.01$

Результаты количественного учета микроорганизмов в почве приведены в табл. 1. Выявлено угнетающее действие БП на численность гнилостных бактерий (аммонификаторов): в 1.92 раза по сравнению с контролем при 10 ПДК и в 5.33 раза при 20 ПДК.

Таблица 1. Влияние бенз[а]пирена на численность почвенной микробиоты ( $\cdot 10^3$  КОЕ / г сухой почвы)

| Вариант   | Аммонификаторы | Азотфиксаторы | Грибы        | Всего     |
|-----------|----------------|---------------|--------------|-----------|
| Контроль  | 160 ± 35       | 120 ± 13      | 4.3 ± 0.5    | 284 ± 48  |
| 10 ПДК БП | 83 ± 6         | 353 ± 17**    | 19.5 ± 2.1** | 456 ± 24* |
| 20 ПДК БП | 30 ± 7*        | 54 ± 8*       | 4.7 ± 0.5    | 88 ± 16*  |

Примечание. Различия с контролем достоверны при \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

Для группы азотфиксаторов концентрация БП 10 ПДК оказала стимулирующее действие в 2.95 раза и угнетающее действие в 2.23 раза при концентрации 20 ПДК. Бенз[а]пирен в дозе 10 ПДК неожиданно приводил к активизации размножения микромицетов в 4.54 раза по сравнению с контролем, а при 20 ПДК угнетающее действие не проявилось.

Изучение структуры популяции (табл. 2) выявило доминирование аммонификаторов в контроле и азотфиксаторов – в вариантах с БП. Во всех вариантах минорным компонентом микробиоты являются грибы, чья доля в структуре популяции тем не менее увеличивается по мере возрастания концентрации БП с 1.6 (контроль) до 5.4 % (20 ПДК БП). Увеличение вклада аммонификаторов в структуру популяции микроорганизмов с 18.3 (10 ПДК) до 33.9 % (20 ПДК) связано не с возрастанием их численности, а с резким сокращением численности азотфиксаторов в этих вариантах.

Таблица 2. Структура популяции почвенной микробиоты, (%)

| Вариант   | Аммонификаторы | Азотфиксаторы | Грибы |
|-----------|----------------|---------------|-------|
| Контроль  | 56.3           | 42.1          | 1.6   |
| 10 ПДК БП | 18.3           | 77.4          | 4.3   |
| 20 ПДК БП | 33.9           | 60.7          | 5.4   |

В табл. 3 представлены значения индексов токсичности ( $T$ ), определенные по реакции простейших *P. caudatum* и бактерий *E. coli* (тест-система «Эколюм») на почву без внесения и с внесением БП. Отмечено, что внесение БП в концентрации 10 ПДК не оказывает острого токсического действия на используемые биотесты. Значения  $T$  для контрольного образца и образца 10 ПДК БП совпадают. Почва с содержанием 20 ПДК БП оказывает токсическое действие на тест-систему «Эколюм». Индекс токсичности, определенный по реакции *P. caudatum*, для варианта опыта при дозе 20 ПДК БП был в 1.8 раза выше, чем для контрольного варианта и 10 ПДК БП, но не превышал значений для допустимой степени токсичности ( $T < 0.40$ ).

Таблица 3. Результаты определения острой токсичности образцов почв, загрязненных бенз[а]пиреном, по реакции простейших *Paramecium caudatum* и бактериальной тест-системы «Эколюм»

| Вариант | Индекс токсичности ( $T$ ), степень токсичности |                       |
|---------|---|-----------------------|
|         | <i>Paramecium caudatum</i>                      | Тест-система «Эколюм» |
|         |   |                       |

|           |   |                                     |
|-----------|---|-------------------------------------|
| Контроль  | 0.19 ± 0.12, I группа, допустимая степень токсичности | 0, I группа, образец не токсичен    |
| 10 ПДК БП | 0.19 ± 0.11, I группа, допустимая степень токсичности | 0, I группа, образец не токсичен    |
| 20 ПДК БП | 0.34 ± 0.20, I группа, допустимая степень токсичности | 29 ± 9, II группа, образец токсичен |

## Обсуждение

Рост является интегральным показателем состояния растений. При проведении модельного эксперимента установлено, что БП не оказывал влияния на всхожесть семян кресс-салата, что, вероятно, обусловлено низкой проницаемостью семенной кожуры для поллютанта. Кроме того, в период прорастания питание проростка происходит в большей степени благодаря семени, а не за счет питательных веществ почвы. Вероятно, по этой причине изменений ростовых параметров 10-суточных растений кресс-салата в присутствии БП в почве нами не выявлено (см. рис. 1). Тем не менее при высокой дозе БП в почве (20 ПДК) отмечали снижение накопления сырой биомассы корнями проростков (см. рис. 2).

В фазе проростка высшее растение достаточно чувствительно к действию стресс-факторов. Уровень окислительного стресса можно оценивать по накоплению МДА в тканях растений. При внесении БП в почву установлено повышенное относительно контроля содержание МДА в побегах кресс-салата (см. рис. 3), что может свидетельствовать об интенсификации процессов ПОЛ в клетках в условиях окислительного стресса, вызванного наличием БП в почве.

Известно, что БП обладает способностью усиливать рост и размножение ряда растений (Бигалиев и др., 2009). Впервые это было показано на водоросли *Obelia geniculata* (Шабад, 1973). С тех пор многочисленными исследованиями подтверждено, что в малых концентрациях БП обладает ростстимулирующим действием. В работе (Скугорева и др., 2021a) при внесении в почву небольшой дозы БП (2 ПДК) отмечали ростстимулирующий эффект БП. При более высоких концентрациях БП возможны процессы торможения роста и развития растений.

Микроорганизмы являются первой мишенью действия токсиканта на почвенную экосистему. В исследуемых концентрациях БП оказывал очень сильное воздействие, в первую очередь, на численность прокариотных микроорганизмов (см. табл. 1). Наиболее чувствительными к действию БП были аммонификаторы. При этом чем выше была доза БП, тем меньше в почве аммонификаторов: коэффициент корреляции между их численностью в почве и концентрацией БП составил -0.995. Подобный эффект был отмечен нами ранее (Скугорева и др., 2021a). Резкое отрицательное воздействие БП на численность почвенных аммонификаторов может приводить к снижению активности минерализационных процессов. Угнетение азотфиксаторов происходило только при высокой концентрации БП (20 ПДК), в то же время этот поллютант стимулировал размножение данной группы бактерий при концентрации 10 ПДК. Совершенно иная реакция наблюдается для грибов: отсутствие угнетения при самой высокой дозе БП и стимуляция их размножения при 10 ПДК. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами, приведенными в работе (Опекунова, 2016), согласно которым при содержании 2 ПДК БП проявляется токсическое действие на сапрофитные микроорганизмы, количество которых значительно снижается, и на грибы, количество которых в почве резко возрастает.

При действии БП изменялась не только численность микроорганизмов, но структура популяций микробного сообщества почвы (см. табл. 2). Если для контрольного варианта характерно преобладание аммонификаторов, то для вариантов с БП – азотфиксаторов.

Согласно результатам биотестирования (см. табл. 3), внесение в почву 10 ПДК БП практически не оказывало токсического действия на *P. caudatum* и тест-систему

«Эколюм». При более высокой концентрации БП (20 ПДК) отмечено токсическое действие на тест-систему «Эколюм», т. е. данная тест-система является более чувствительной к загрязнению почв БП, чем простейшие *P. caudatum*. Данный факт, вероятно, связан с тем, что кишечная палочка *E. coli*, входящая в основу тест-системы «Эколюм», относится к группе аммонификаторов, численность которых резко снижается при действии данного токсиканта. В то же время ранее нами было отмечено, что *P. caudatum* является чувствительным тест-организмом к загрязнению БП городских почв (Скугорова и др., 2021б).

## Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Внесение БП в почву в дозах 10 и 20 ПДК не оказывало влияния на всхожесть семян и линейные параметры 10-суточных проростков кресс-салата.
2. В варианте опыта с содержанием 20 ПДК БП происходило достоверное снижение накопления сырой биомассы корнями растений кресс-салата в 1.47 раза по сравнению с контролем.
3. В дозах 10 и 20 ПДК БП в почве отмечали увеличение содержания МДА в побегах растений в 1.69 и 1.60 раза по сравнению с контролем, что может свидетельствовать об интенсификации процессов ПОЛ в клетках в условиях окислительного стресса, вызванного наличием БП в почве.
4. Показана неоднозначность размножения почвенных микроорганизмов при внесении БП в дозах 10 и 20 ПДК. Самой чувствительной группой оказались аммонификаторы, которые можно считать индикаторной группой организмов на загрязнение почвы БП.
5. Бактериальная тест-система «Эколюм» проявила себя более чувствительной по отношению к БП по сравнению с простейшими *Paramecium caudatum*. Острая токсичность для тест-системы «Эколюм» выявлена при загрязнении почвы 20 ПДК БП.

Таким образом, почва, загрязненная 20 ПДК БП, является токсичной для таких групп почвенных микроорганизмов, как аммонификаторы и азотфиксаторы, для проростков кресс-салата и для тест-системы «Эколюм». Первые рекогносцировочные данные о токсичности для различных групп живых организмов (бактерии, высшие растения) впоследствии можно включать в разработку систем мониторинга состояния почв, загрязненных данным поллютантом.

## Библиография

Абдухалилов О. М., Скугорова С. Г. Токсическое действие полициклических ароматических углеводородов на растения ячменя // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Материалы междунар. науч. конф. Киров: ВятГУ, 2019. С. 249–251.

Ажогина Т. Н., Скугорова С. Г., Аль-Раммахи А. А. К., Гненная Н. В., Сазыкина М. А., Сазыкин И. С. Влияние поллютантов на распространение генов устойчивости к антибиотикам в окружающей среде // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 6–14. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014

Бигалиев А. Б., Синтюрина А. В., Бияшева З. М. К вопросу о патогенном действии бензапирена, как загрязнителя окружающей среды (обзор) // Вестник КазНУ. 2009. URL: <https://articlekz.com/article/7146> (дата обращения: 28.10.2021).

Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35. Вып. 4. С. 773–780.

МУК 4.1.1274-03. Измерение массовой доли бензпирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора pyrene in samples of soils, grounds, sediments and solid waste by HPLC using a fluorimetric detector]. М.: Минздрав России, 2003. 36 с.

Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: Учеб. пособие . 2-е изд. СПб.: СПбГУ,



2016. 299 с.

Скугорова С. Г., Домрачева Л. И., Абдухаллилов О. М. Влияние бензпирена на развитие почвенных микроорганизмов и рост проростков пелюшки pyrene on the development of soil microorganisms and the growth of field pea seedlings] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2021а. С. 103–108.

Скугорова С. Г., Домрачева Л. И., Абдухалилов О. М., Забубенина Ю. С., Фокина А. И., Кулаков В. Н. Особенности микробиологического и химического состава урбаноземов парков г. Кирова // Материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения». Киров: Вятский государственный университет, 2021б. Кн. 1. С. 277–282.

Шабад Л. М. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде . М.: Медицина, 1973. 367 с.

Яковлева Е. В., Габов Д. Н. Полициклические ароматические углеводороды в растениях естественных бугристых болот // Принципы экологии. 2019. № 2. С. 119–128. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8822.

Яковлева Е. В., Габов Д. Н., Безносиков В. А. Влияние бензпиренового загрязнения на ростовые процессы и состав полиаренов растений pyrene pollution on the growth processes and composition of polyarenes of plants] // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 45–51. DOI: 10.25750/1995-4301-2015-4-045-051.

Gałązka A., Grządziel J. The molecular-based methods used for studying bacterial diversity in soils contaminated with PAHs (the review) // Soil Contamination – Current Consequences and Further Solutions / Eds. M. L. Larramendy, S. Soloneski. IntechOpen. 2016. P. 85–104. DOI: 10.5772/64772.

Ifegwu O. C., Anyakora C. Chapter Six – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Part I. Exposure // Advances in Clinical Chemistry. 2015. Vol. 72. P. 277–304. DOI: 10.1016/bs.acc.2015.08.001.

## **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ 1220401000325.

# ASSESSMENT OF TOXICITY OF SOIL CONTAMINATED WITH BENZ[A]PYRENE

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>SKUGOREVA Svetlana Gennadievna</b> | <i>Ph.D., Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS (28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982), skugoreva@mail.ru</i> |
| <b>DOMRACHEVA Lyudmila Ivanovna</b>   | <i>D.Sc., Vyatka State Agrotechnological University (133, Oktyabrskiy Ave., Kirov, Russia, 610017), dli-alga@mail.ru</i>  |
| <b>KUTYAVINA Tatiana Igorevna</b>     | <i>Ph.D., Vyatka State University (36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000), kutyavinati@gmail.com</i>   |
| <b>ABDUKHALILOV Olim Musurmonugli</b> | <i>N. D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry Russian Academy of Sciences (47, Leninsky Ave., Moscow, Russia, 119991), alimbay.1998@mail.ru</i>                |
| <b>ZABUBENINA Julia Sergeevna</b>     | <i>Vyatka State Agrotechnological University (133, Oktyabrskiy Ave., Kirov, Russia, 610017), candyman30@mail.ru</i>   |
| <b>ASHIKHMINA Tamara Yakovlevna</b>   | <i>Ph.D., Vyatka State University (36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000), usr08619@vyatsu.ru</i>  |

**Keywords:**  
polycyclic aromatic hydrocarbons, benz[a]pyrene, toxicity, garden cress, soil microorganisms, biotesting

**Received on:**  
06 July 2022  
**Published on:**  
05 October 2022

**Summary:** A model experiment was carried out to assess the toxicity of soddy-podzolic soil artificially contaminated with benz[a]pyrene (BP) at doses of 10 and 20 MPC. It was established that a decrease in the accumulation of biomass by the roots of garden cress plants begins to manifest itself only when the content of BP is 20 MPC. The introduction of BP into the soil leads to an increase in the content of malonic dialdehyde in plant shoots, which indicates the intensification of lipid peroxidation processes under conditions of oxidative stress. In the presence of BP, the ambiguity of reproduction of soil microorganisms was shown. The most sensitive group to this pollutant turned out to be ammonifiers, which can be considered as an indicator group of organisms for soil contamination with BP. The Ecolum bacterial test system also proved to be sensitive to BP. Thus, soil contaminated with 20 MPC BP is toxic for such groups of soil microorganisms as ammonifiers and nitrogen fixers, for garden cress seedlings and the Ecolum test system.