



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229

УДК 574.2

ДОЗА-ЭФФЕКТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НА БИОТИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ ЭКОСИСТЕМ

С.А. Бузмаков, Д.О. Егорова, Е.Л. Гатина

Пермский государственный национальный исследовательский университет
ул. Букирева, 15, Пермь, Россия, 614990

Степень влияния на биотический компонент экосистем находится в зависимости от уровня нефтяного загрязнения, присутствующего в почве. Для определения доза-эффекта изучена реакция живых объектов разного уровня организации с применением методов токсикологии, аналитической химии и экологии. Установлено, что концентрация нефти в почве 200 г/кг и выше оказывает токсическое влияние на микроорганизмов: индекс токсичности составил 38 ед., скорость разложения бенз[а]пирена значительно падает. Установлено, что повышение дозы нефтезагрязнения нелинейно влияет на условия развития растений. При этом растительные компоненты менее активно реагируют на изменение концентрации нефти в почвах хвойно-широколиственной подзоны, чем в почвах южной тайги. Применение в качестве тест-объекта *Daphnia magna* Straus показало, что для животных почва становится остро токсичной при содержании нефти более 200 г/кг почвы. Таким образом, показан доза-эффект для микроорганизмов, растений и животных при загрязнении нефтью различных почв.

Ключевые слова: нефть, загрязнение, микроорганизмы, растения, тест-объекты

Введение

Нефть в настоящее время является одним из наиболее распространенных и сложных загрязнителей окружающей среды. По химическому составу нефть включает в себя алифатические и ароматические углеводороды, гетероароматические соединения (преимущественно серосодержащие), асфальтены и смолы [1; 2]. Действие отдельных компонентов на живые организмы может проявляться при разных концентрациях нефти, присутствующей в экосистеме. При этом известно, что нефтяное загрязнение вызывает такие негативные изменения как полное или частичное угнетение экосистемы в целом, изменение физико-химических параметров экотопа, приобретение токсичных свойств субстрата для биоценоза, угнетение отдельных элементов биоценоза [3].

Почва является основным рецептором для нефти, в случае нарушения технологии извлечения, транспортировки и переработки [4]. Нефть и сопутствующие соединения попадают в верхний слой почвы при разработке и эксплуатации нефтяных и газонефтяных месторождений [5–8]. Проводятся многочисленные исследования по изучению распространения нефтяного загрязнения, присутствию различных нефтяных компонентов и их влияние на объекты окружающей среды [3; 9–14]. Однако вопросы влияния нефти на почвенные экосистемы остаются недостаточно изученными.

Цель настоящего исследования — изучить влияние различных концентраций нефти в почве на биотический компонент экосистемы.

Материалы и методы

Почвы для модельных экспериментов были отобраны в подзоне Южной тайги (п. Родники и п. Романово, Соликамский район, Пермский край, Россия) и в хвойно-широколиственной подзоне (п. Мельничная и п. Змеевка, Частинский район, Пермский край, Россия) (рис. 1).

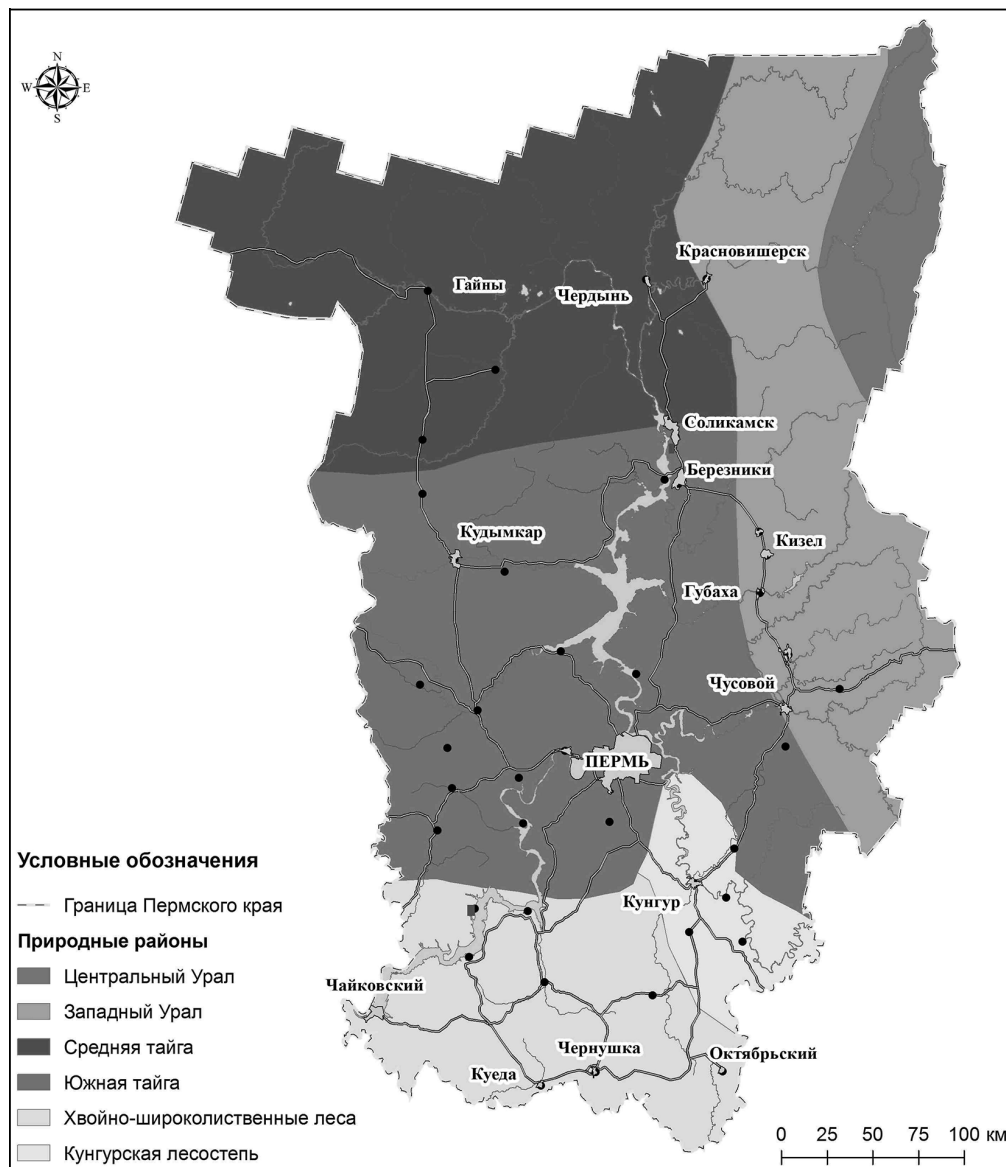


Рис. 1. Карта-схема природных районов Пермского края: серыми прямоугольниками отмечены места отбора образцов почв

(Fig. 1. Map-scheme of the natural areas of the Perm Territory: grey rectangles indicate the location of sampling of soils)

Южнотаежные почвы представлены дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами разного механического состава (табл. 1). Материнскими породами являются древнеаллювиальные пески и супеси и покровные суглинки водно-ледникового происхождения.

Таблица 1

Характеристика почв, используемых в модельных экспериментах

№ п/п образцов	Типы почв	Механический состав	pH, KCl	Гумус, %	Подвижные, мг/100 г		Нефтепродукты, г/кг
					P ₂ O ₅	NO ₃	
Подзона южной тайги							
1	Дерново-среднеподзолистая песчаная	Песок связный	4,7	1,37	12,5	24,3	0,07—0,05
2	Дерново-сильноподзолистая песчаная	Песок связный	4,9	1,23	5,0	30,0	0,11—0,10
3	Среднеподзолистая песчаная	Песок связный	4,4	0,96	5,0	11,6	0,112—0,078
4	Среднеподзолистая песчаная	Песок связный	4,7	0,51	3,7	9,4	0,177—0,08
5	Дерново-среднеподзолистая супесчаная	Супесь	4,1	1,68	27,5	34,0	0,09—0,079
6	Среднеподзолистая супесчаная	Супесь	6,9	1,46	58,0	28,0	0,12—0,045
Хвойно-широколиственная подзона							
7	Дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая	Суглинок легкий	5,2	2,43	11,5	29,4	0,096—0,06
8	Дерново-бурая намытая тяжелосуглинистая	Суглинок тяжелый	4,9	4,87	8,5	16,1	0,096—0,089
9	Дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая	Суглинок легкий	6,6	1,95	9,8	13,8	0,05—0,1
10	Дерново-слабоподзолистая супесчаная	Супесь	4,2	3,39	1,2	23,2	0,42—0,15
11	Дерново-среднеподзолистая легкосуглинистая	Суглинок легкий	3,9	2,14	2,5	18,1	0,14—0,11

Table 1

Characteristics of soils used in model experiments

Se-quence number	Types of soil	Mechanical composition	pH, KCl	Humus, %	Movable, mg/100 g		Petroleum products, g/kg
					P ₂ O ₅	NO ₃	
Subzone of southern taiga							
1	Sod-podzolic sandy	Sand coherent	4,7	1,37	12,5	24,3	0,07—0,05
2	Sod-strongly podzolic sandy	Sand coherent	4,9	1,23	5,0	30,0	0,11—0,10
3	Medium podzolic sandy	Sand coherent	4,4	0,96	5,0	11,6	0,112—0,078
4	Medium podzolic sandy	Sand coherent	4,7	0,51	3,7	9,4	0,177—0,08
5	Sod-medium podzolic sandy loam	Sandy loam	4,1	1,68	27,5	34,0	0,09—0,079
6	Middle podzolic sandy loam	Sandy loam	6,9	1,46	58,0	28,0	0,12—0,045
Coniferous-deciduous subzone							
7	Sod-medium podzolic light loam	Light loam	5,2	2,43	11,5	29,4	0,096—0,06
8	Sod-brown, heavy loam	Heavy loam	4,9	4,87	8,5	16,1	0,096—0,089

End of Table 1

Se- quence number	Types of soil	Mechanical composition	pH, KCl	Humus, %	Movable, mg/100 g		Petroleum products, g/kg
					P ₂ O ₅	NO ₃	
9	Sod-weakly podzolic light loam	Light loam	6,6	1,95	9,8	13,8	0,05—0,1
10	Sod-weakly podzolic sandy loam	Sandy loam	4,2	3,39	1,2	23,2	0,42—0,15
11	Sod-medium podzolic light loam	Light loam	3,9	2,14	2,5	18,1	0,14—0,11

В хвойно-широколиственной подзоне наиболее распространены дерново-подзолистые почвы (см. табл. 1). Дерново-слабоподзолистые почвы занимают около 10% площадей используемых в сельском хозяйстве. В этих почвах доминирует дерновый процесс. Они имеют свои морфологические особенности. Горизонт А₀ — темно-серого цвета с бурым оттенком (14—19 см), А₂ — нет, изредка выделяется А₂В₁, оподзоливание проявляется лишь в виде кремнистой присыпки в В₁ и В₂. Ап — достигает 23 см.

Для модельных опытов отбирались верхние гумусовые или пахотные горизонты в количестве 50 кг. В лабораторных условиях почва высушивалась, пропускалась через сито (ячейки 3×3 мм), смешивалась в большой емкости. Для эксперимента отбиралась средняя проба.

Было заложено две серии опытов с разными дозами нефти и контролем. В первом варианте нефть вносили в концентрации 0,5; 1,0; 15,0; 50,0; 150; 300 г/кг. Второй вариант опытов проводили по аналогичной схеме с дозами нефти — 1,0; 15,0; 30,0; 50; 100; 200 г/кг почвы. Почву в большой емкости загрязняли нефтью и тщательно перемешивали, затем набивали сосуды (с постоянным весом почвы в сосуде 1 кг) при легком уплотнении с одновременным поливом и доведением влажности до 60% от полной влагоемкости. Компостирование проводили при комнатной температуре с одинаковой освещенностью.

Фоновое содержание нефтепродуктов в дерново-подзолистых почвах, ненарушенных нефтедобывающим комплексом, колеблется от десятых до сотых г/кг почвы (см. табл. 1).

В модельном опыте использовали товарную нефть с дожимно-насосной станции (ДНС) «Сибирь» (почвы подзоны южной тайги) и с установки первичной переработки нефти (УППН) «Суханово» (почвы хвойно-широколиственной подзоны). По своим физико-химическим характеристикам нефти отличаются друг от друга. Так нефть ДНС «Сибирь» имеет больше светлых фракций, легкая, нефть с УППН «Суханово» содержит больший процент асфальтенов и смол, вязкость ее намного выше северной.

Определение фитотоксичности почв проводили методом почвенных пластинок. Фитотоксические свойства загрязненных почв определялись по степени угнетения семян и роста проростков. В качестве контроля брали почвы без внесения нефти. Токсичными почвы считаются при угнетении роста и развития тест-культур на 20—30% по сравнению с контролем [15].

Почвенные образцы отбирали из модельных систем через 1, 2 и 3 месяца культивирования и готовили к химическому анализу согласно рекомендаций работ [17–19]. Бенз[а]пирен экстрагировали из почвы стандартными методами [20] и анализировали методом газовой хроматографии. Концентрацию бенз[а]пирена рассчитывали по методу внешнего стандарта [20].

Уровень токсичности почвенных образцов для *Daphnia magna* Straus определяли как описано в работе [21]. Острое токсическое действие водной вытяжки, полученной как описано в труде [22], определяли по смертности (летальности) *Daphnia magna* Straus за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служит гибель 50% и более дафний за 48 часов в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняют свою жизнеспособность.

Токсичность почв для микроорганизмов оценивали по изменению интенсивности биOLUMИнесценции биосенсора «Эколюм» при воздействии токсических веществ, присутствующих в анализируемой пробе, по сравнению с контролем. Токсическое действие исследуемой пробы на тест-объект определяется по уменьшению интенсивности биOLUMИнесценции за 30-минутный (в экспрессном варианте — 5 минут) период экспозиции. Количественные оценки тест-реакции выражали в виде безразмерной величины — индекса токсичности «Т» [23].

Результаты и их обсуждение

Токсикологический анализ почвы показал, что при дозе 200 г нефти/кг почвы проявляется острое токсическое действие на тест-объект *Escherichia coli* (биосенсор «Эколюм») (рис. 2). При этом острое токсическое действие водная вытяжка оказывала в концентрации 5% (разбавление 1:19). Индекс токсичности при максимальном разбавлении, при котором фиксируется острое токсическое действие, равен 8. Без разбавления данный показатель равен 38 ед.

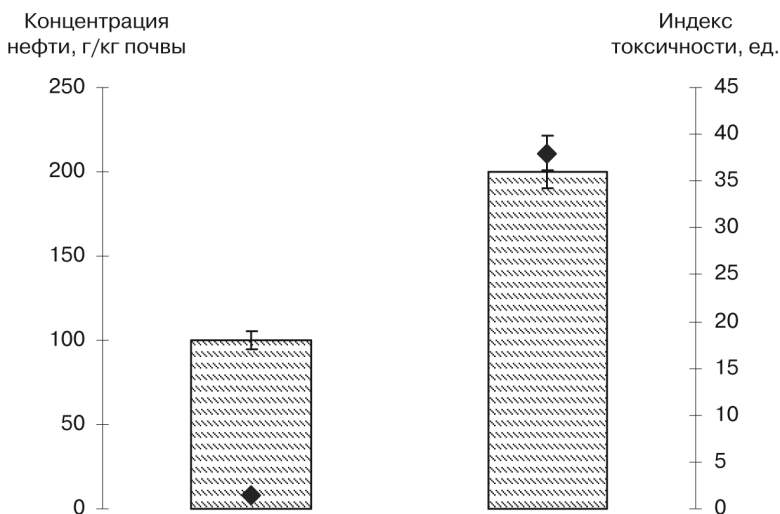


Рис. 2. Изменение индекса токсичности почвы для микроорганизмов в зависимости от уровня нефтезагрязнения

(Fig. 2. Change in soil toxicity index for microorganisms depending on the level of oil pollution)

Острое токсическое действие водных вытяжек из нефтезагрязненных почв отсутствует при концентрации 100 г нефти/кг почвы. Дальнейшее повышение концентрации нефти в почве приводит к ингибированию микробных процессов, снижению концентрации метаболитов, а также прямому токсическому влиянию нефтяных компонентов на микрофлору.

Загрязнение почв нефтью сопровождается загрязнением ароматическими полициклическими углеводородами, в том числе канцерогенными, такими как бенз[а]пирен [9; 11; 12; 24]. В ряде работ отмечено, что разложение полиароматических углеводородов, в том числе и бенз[а]пирена в почве возможно в результате деструктивной активности почвенной микрофлоры [10; 25; 26]. Анализ экспериментальных образцов показал, что бенз[а]пирен детектируется при всех внешних концентрациях нефти. При этом выявлен доза-зависимый эффект при анализе скорости деструкции бенз[а]пирена почвенной микрофлорой. При концентрации до 200 г нефти/кг почвы, скорость деструкции составляет 11,5 (мкг/кг)/мес, тогда как при более высоких концентрациях данный показатель снижается в 3 раза и составляет 4,5 (мкг/кг)/мес.

При анализе влияния нефтезагрязнения почвы на растительный компонент оценивали изменения 9 показателей развития растений (табл. 2).

Таблица 2

Доза нефти существенного снижения вегетативных показателей растений, г/кг почвы

№ почвенного образца	Выживаемость растений, %	Длина надземного побега, см	Длина корня, см	Общая длина растения, см	Соотношение надземного побега к корню	Сырой вес надземного побега, г	Сырой вес корня, г	Сырой вес растения, г	Соотношение сырого веса растения к длине растения
Подзона южной тайги									
1	50	50	—	—	—	15	50	50	50
2	100	50	15	30	15	15	15	15	15
3	—	50	30	30	—	30	30	30	30
4	100	30	1	30	0,5	30	30—50	30	30
5	100	15	15	15	15	15	15	15	15
6	—	50	30	30	30	15	30	15	15
Хвойно-широколиственная подзона									
7	—	30	15	15	15	15	30	15—30	15—30
8	—	30	30	30	30	15	50	15	15
9	—	100	30	50	30	100	30	50	50
10	100	15	15	15	15	15	15	15	15
11	100	100	15	50	15	15	50	30	30

Table 2

The dose of oil is a significant reduction in vegetative indices of plants, g/kg soil

No. of soil sample	Survival of plants, %	Length of above-ground shoot, sm	Length of root, sm	Total length of the plant, sm	The ratio of above-ground shoot to root	Raw weight above ground, g	Raw root weight, g	Raw plant weight, g	The ratio of the green weight of the plant to the length of the plant
Subzone of southern taiga									
1	50	50	—	—	—	15	50	50	50
2	100	50	15	30	15	15	15	15	15
3	—	50	30	30	—	30	30	30	30
4	100	30	1	30	0,5	30	30—50	30	30
5	100	15	15	15	15	15	15	15	15
6	—	50	30	30	30	15	30	15	15
Coniferous-deciduous subzone									
7	—	30	15	15	15	15	30	15—30	15—30
8	—	30	30	30	30	15	50	15	15
9	—	100	30	50	30	100	30	50	50
10	100	15	15	15	15	15	15	15	15
11	100	100	15	50	15	15	50	30	30

Установлено, что выживаемость растений существенно снижается (на 20% и более) в почвах подзоны южной тайги при уровне загрязнения 50–100 г нефти/кг почвы, тогда как в почвах хвойно-широколиственной подзоны данный показатель составил 100 г нефти/кг почвы. Существенное снижение длины надземного побега в южно-таежных почвах наступает при 15–50 г нефти/кг почвы, в почвах хвойно-широколиственных лесов при 15–100 г нефти/кг почвы. Существенное снижение длины корня происходит при концентрации нефти 15–30 г/кг почвы в обеих группах почв. Анализ изменение общей длины растения выявил обратную линейную корреляционную зависимость от дозы внесенной в почву нефти.

Такой показатель как отношение длины надземной части к длине корня крайне нестабилен для южнотаежных почв. Уменьшение длины стебля или корня в них происходит с разной скоростью независимо от величины дозы и типа субстрата; линейная корреляция отсутствует (см. табл. 2). Длина надземной части и корня с увеличением дозы нефти уменьшается. Отношение их длин, как правило, имеет положительную линейную корреляцию, что свидетельствует о различной скорости изменения этих параметров. Длина стебля по сравнению с длиной корня по мере увеличения дозы нефти изменяется медленнее. Таким образом, нефтезагрязнение более существенно влияет на линейные размеры корневой системы, чем на линейные размеры вегетативного побега.

Влияние доз нефти на сырой вес надземной части растений пшеницы выражается в его снижении при высоком загрязнении. Необходимо отметить значи-

тельную корреляцию показателя с уровнем загрязнения практически для всех почв (см. табл. 2).

Анализ основных характеристик развития растений в условиях нефтяного загрязнения показывает, что количество выживших растений, несмотря на высокую корреляцию с дозами нефтепродуктов, является малочувствительным показателем в проведенном эксперименте.

Изменение линейных размеров растений (длина надземной части, длина корня, общая длина растения, отношение длины надземной части растений к корню), часто, для многих почв, не имеет значительной корреляции между показателями состояния растений и дозой нефти. Зависимость носит более сложный нелинейный характер. Длина растений и отдельных их частей уменьшается под влиянием больших доз нефтяного загрязнения.

Изменение весовых показателей развития растений (сырой вес надземной части, вес корня, общий вес растений, отношение веса растения к его длине) носит обратную линейную зависимость от дозы нефтяного загрязнения.

Таким образом, нефтяное загрязнение нелинейно влияет на условия развития растений.

Проанализирован уровень острой токсичности почв для животного компонента экосистемы с применением тест-объекта *Daphnia magna* Straus.

Токсикологический анализ почвы показал, что при дозе 200 г нефти/кг почвы и выше проявляется острое токсическое действие на тест-объект *Daphnia magna* Straus. Летальная кратность разбавления водной вытяжки составляет 50,1%. Безвредная кратность разбавления — 17,4% (т.е. разбавление в 5,7 раз). Влияние водной вытяжки нефтезагрязненного грунта на выживаемость дафний можно описать линейными зависимостями:

при дозе 200 г нефти/кг почвы: $y = -0,1104x + 12,35$ ($R^2 = 0,9714$);

при дозе 300 г нефти/кг почвы: $y = -0,0679x + 11,3$ ($R^2 = 0,9734$),

где y — количество дафний; x — время в часах.

Заключение

Проведенные исследования позволяют описать особенности влияния разных концентраций нефтезагрязнения на биоту.

Установлен прямой доза-эффект для микробного и животного компонента. Превышение концентрации 200 г нефти/кг почвы вызывает угнетение данных компонентов биоты. Более сложные закономерности показаны для растительного компонента.

Таким образом, развитие биоценоза находится в сложной зависимости от уровня нефтяного загрязнения одного из основных компонентов экосистемы — почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Филатов Д.А., Копытов М.А., Кривцов Е.Б., Гринько А.А., Алтунина Л.К. Биотрансформация высокомолекулярных полициклических соединения в составе высоковязких нефтей аборигенной почвенной микрофлорой // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 8. С. 32–37.

- [2] *Pinedo J., Ibáñez R., Lijzen J.P.A., Irabien Á.* Assessment of soil pollution based on total petroleum hydrocarbons and individual oil substances // *Journal of Environmental Management*. 2013. V. 130. P. 72–79. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.08.048
- [3] *Бузмаков С.А.* Антропогенная трансформация природной среды // *Географический вестник*. 2012. № 4 (23). С. 46–50.
- [4] COM (Commission of the European Communities). Thematic Strategy for Soil Protection, [Sec (2006) 620] and [SEC(2006)1165], COM (2006) 231 final. Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 2006.
- [5] *Давыдова С.Л., Тагасов В.И.* Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. М.: Изд-во РУДН, 2004. 163 с.
- [6] *Жанбуршин Е.Т.* Проблемы загрязнения окружающей среды нефтегазовой отраслью Республики Казахстан // *Нефть и газ*. 2005. № 2. С. 84–92.
- [7] *Оборин А.А., Хмурчик В.Т., Иларионов С.А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В.* Нефтезагрязненные биогеоценозы (Процессы образования, научные основы восстановления, медико-биологические проблемы). Пермь: УрО РАН; Перм. гос. ун-т; Перм. гос. техн. ун-т, 2008. 511 с.
- [8] *Солнцева Н.П.* Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: МГУ, 1998. 376 с.
- [9] *Хаустов А.П., Редина М.М.* Полициклические ароматические углеводороды как геохимические маркеры нефтяного загрязнения окружающей среды // *Экспозиция Нефть Газ*. 2014. № 4 (36). С. 92–96.
- [10] *Liste H.H., Prutz I.* Plant Performance, Dioxygenase-Expressing Rhizosphere Bacteria, and Biodegradation of Weathered Hydrocarbons in Contaminated Soil // *Chemosphere*. 2006. V. 62(9). P. 1411–20. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.05.018
- [11] *Pinedo J., Ibáñez R., Primo Ó., Gómez P., Irabien Á.* Preliminary assessment of soil contamination by hydrocarbon storage activities: Main site investigation selection // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. V. 147. P. 283–290. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.016>
- [12] *Sushkova S., Minkina T., Turina I., Mandzhieva S., Bauer T., Kizilkaya R., Zamulina I.* Monitoring of benzo[a]pyrene content in soils under the effect of long-term technogenic pollution // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. V. 174. P. 100–106. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.02.009>
- [13] *Xing X., Qi S., Zhang J., Wu Ch., Zhang Y., Yang D., Odhiambo J.O.* Spatial distribution and source diagnosis of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Chengdu Economic Region, Sichuan Province, western China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2011. V. 110. P. 146–154. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.05.001>
- [14] *Zhang J., Dai J., Chen H., Du X., Wang W., Wang R.* Petroleum contamination in groundwater/air and its effects on farmland soil in the outskirts of an industrial city in China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2012. V. 118. P. 19–29. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.04.002>
- [15] *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
- [16] Anon., In: Sokolov, A. (Ed.), *Agrochemical methods of soil study*. Science Publishing. Moscow, 1975. (in Russian).
- [17] ISO 13877–2005, *Soil Quality — Determination of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons — Method Using High-performance Liquid Chromatography*. 20 p. DOI: 10.1016/j.trac.2006.05.010
- [18] *Pikovskii Y.* Natural and Technogenic Fluxes of Hydrocarbons in the Environment. Moscow: MGU, 1993. (in Russian).
- [19] Directive document 52.10.556-95. *Methodical Instructions. Definition of Polluting Substances in Sediments and Suspension*. Moscow: Roshydromet, 2002. (in Russian).
- [20] Anon., *Procedure of measurements benz(a)pyrene content in soils, sediments and sludges by highly effective liquid chromatography method*. Certificate 27–08. Moscow: Russian State Standard Publishing House, 2008. P. 56 (in Russian).
- [21] *Borodulina T.S., Polonskii V.I., Vlasova E.S., Shashkova T.L., Grigor'ev Yu.S.*, Effect of Oil-Pollution of Water on Slow Fluorescence of the Algae *Chlorella vulgaris* Beijer and Survival Rate

- of the Cladoceran *Daphnia magna* Str. // Contemporary Problems of Ecology. 2011. V. 4 (1). P. 80–83. DOI:10.1134/S1995425511010139
- [22] *Sushkova S.N., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G.* Elaboration and Approbation of Methods for Benzo[a]pyrene Extraction from Soils for Monitoring of the Ecological State in Technogenic Landscapes // World Applied Sciences Journal. 2013. V. 25 (10). P. 1432–1437. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.25.10.11237
- [23] МР 01.019-07, Определение интегральной токсичности почв с помощью биотеста «Эколюм». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007.
- [24] *Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C.* Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2016. V. 124. P. 120–128. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.10.005>
- [25] *Liste H.H.* Rhizosphere bacteria community and petrol hydrocarbon (PHC) biodegradation in soil planted to field crops // Географический вестник. 2011. V. 1 (16). С. 73–84.
- [26] *Qin W., Zhu Y., Fan F., Wang Y., Liu X., Ding A., Dou J.* Biodegradation of benzo(a)pyrene by *Microbacterium* sp. strain under denitrification: Degradation pathway and effects of limiting electron acceptors or carbon source // Biochemical Engineering Journal. 2017. V. 121. P. 131–138. <http://doi.org/10.1016/j.bej.2017.02.001>

© Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 20.03.2017

Дата принятия к печати: 30.03.2017

Для цитирования:

Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 2. С. 217–229.

Сведения об авторах:

Бузмаков Сергей Алексеевич — доктор географических наук, профессор; заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы, географический факультет Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: lep@psu.ru

Егорова Дарья Олеговна — кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, географический факультет Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: daryao@gambler.ru

Гатина Евгения Леонидовна — кандидат биологических наук; доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, географический факультет Пермского государственного национального исследовательского университета. E-mail: suslovael@mail.ru

THE DOSE-EFFECT OF OIL POLLUTION OF SOILS ON THE BIOTIC COMPONENT OF ECOSYSTEMS

S.A. Buzmakov, D.O. Egorova, E.L. Gatina

Perm State University
Bukireva str., 15, Perm, Russia, 614990

The degree of influence on the biotic component of ecosystems depends on the level of oil contamination present in the soil. To determine the dose-effect, the reaction of living objects of different levels of organization with the use of methods of toxicology, analytical chemistry and ecology was studied. It was found that the concentration of oil in the soil of 200 g/kg and above has a toxic effect on microorganisms: the toxicity index was 38 units, the decomposition rate of benzo [a] pyrene significantly decreases. It was found that increasing the dose of oil pollution nonlinearly affects the conditions of plant development. At the same time, plant components react less actively to changes in the concentration of oil in the soils of the coniferous-broad-leaved subzone than in the soils of the southern taiga. The use of *Daphnia magna* Straus as a test object showed that for animals the soil becomes acute with an oil content of more than 200 g/kg soil. Thus, a dose-effect is shown for microorganisms, plants and animals with oil contamination of various soils.

Key words: oil, pollution, microorganisms, plants, test objects

REFERENCES

- [1] Filatov D.A., Kopytov M.A., Krivtsov Ye.B., Grin'ko A.A., Altunina L.K. Biotransformatsiya vysokomolekulyarnykh politsiklicheskikh soyedineniya v sostave vysokovyazkikh neftey aborigennoy pochvennoy mikroflory [Biotransformation of high-molecular polycyclic compounds in high-viscosity oil composition by aboriginal soil microflora] // *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Protection of the environment in the oil and gas complex]. 2014. № 8. P. 32–37.
- [2] Pinedo J., Ibáñez R., Lijzen J.P.A., Irabien Á. Assesment of soil pollution based on total petroleum hydrocarbons and individual oil substances // *Journal of Environmental Management*. 2013. V. 130. P. 72–79. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.08.048
- [3] Buzmakov S.A. Antropogennaja transformacija prirodnoj sredy [Anthropogenic transformation of the environment] // *Geograficheskij vestnik* [Geographicheskij Vestnik]. 2012. No. 4 (23). Pp. 46–50.
- [4] COM (Commission of the European Communities). Thematic Strategy for Soil Protection, [Sec(2006) 620] and [SEC(2006)1165], COM (2006) 231 final. Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, 2006.
- [5] Davydova S.L., Tagasov V.I. Neft' i nefteprodukty v okruzhajushhej srede: ucheb. posobie [Oil and petroleum products in the environment: Textbook. Benefit]. M.: Izd-vo RUDN, 2004. 163 p.
- [6] Zhanburshin E.T. Problemy zagryazneniya okruzhajushhej sredy neftegazovoj otrasl'ju Respubliki Kazahstan [Pollution oil and gas industry of the Republic of Kazakhstan]. Neft' i gaz [Oil & Gas]. 2005. No. 2. Pp. 84–92.
- [7] Oborin A.A., Hmurchik V.T., Ilarionov S.A., Markarova M.Ju., Nazarov A.V. Neftezagryaznennye biogeocenozy (Processy obrazovaniya, nauchnye osnovy vosstanovleniya, mediko-biologicheskie problemy) [Oily biogeocoenoses (formation processes, the scientific basis of recovery, medical and biological problems)]. Perm: UB RAS; Perm. gos. un-t; Perm. gos. tehn. un-t., 2008. 511 p.
- [8] Solnceva N.P. Dobycha nefti i geohimija prirodnyh landshaftov [Oil and geochemistry of natural landscapes]. M.: Moscow State University, 1998. 376 p.
- [9] Khaustov A.P., Redina M.M. Politsiklicheskiye aromatcheskiye uglevodorody kak geokhicheskiye markery neftyanogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy [Polycyclic aromatic

- hydrocarbons as geochemical markers of oil pollution of the environment] // Ekspozitsiya Neft' Gaz [Exposition Oil Gas]. 2014. № 4 (36). S. 92–96.
- [10] Liste H.H., Prutz I. Plant Performance, Dioxygenase-Expressing Rhizosphere Bacteria, and Biodegradation of Weathered Hydrocarbons in Contaminated Soil // *Chemosphere*. 2006. V. 62(9). P. 1411–20. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.05.018
- [11] Pinedo J., Ibáñez R., Primo Ó., Gómez P., Irabien Á. Preliminary assessment of soil contamination by hydrocarbon storage activities: Main site investigation selection // *Journal of Geochemical Exploration*. 2014. V. 147. P. 283–290. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.016>
- [12] Sushkova S., Minkina T., Turina I., Mandzhieva S., Bauer T., Kizilkaya R., Zamulina I. Monitoring of benzo[a]pyrene content in soils under the effect of long-term technogenic pollution // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. V. 174. P. 100–106. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.02.009>
- [13] Xing X., Qi S., Zhang J., Wu Ch., Zhang Y., Yang D., Odhiambo J.O. Spatial distribution and source diagnosis of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Chengdu Economic Region, Sichuan Province, western China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2011. V. 110. P. 146–154. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.05.001>
- [14] Zhang J., Dai J., Chen H., Du X., Wang W., Wang R. Petroleum contamination in groundwater/air and its effects on farmland soil in the outskirts of an industrial city in China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2012. V. 118. P. 19–29. <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.04.002>
- [15] Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii / Pod red. D.G. Zvjaginceva [Methods of Soil Microbiology and Biochemistry / Ed. D.G. Zvyagintsev]. Moscow: Moscow State University, 1991. 304 p.
- [16] Anon., In: Sokolov, A. (Ed.), Agrochemical methods of soil study. Science Publishing. Moscow, 1975 (in Russian).
- [17] ISO 13877–2005. Soil Quality — Determination of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons — Method Using High-performance Liquid Chromatography. 2005. 20 p. DOI: 10.1016/j.trac.2006.05.010
- [18] Pikovskii Y. Natural and Technogenic Fluxes of Hydrocarbons in the Environment. Moscow: MGU, 1993 (in Russian).
- [19] Directive document 52.10.556-95. Methodical Instructions. Definition of Polluting Substances in Sediments and Suspension. Moscow: Roshydromet, 2002 (in Russian).
- [20] Anon., Procedure of measurements benz(a)pyrene content in soils, sediments and sludges by highly effective liquid chromatography method. Certificate 27–08. Moscow: Russian State Standard Publishing House, 2008. P. 56 (in Russian).
- [21] Borodulina T.S., Polonskii V.I., Vlasova E.S., Shashkova T.L., Grigor'ev Yu.S. Effect of Oil-Pollution of Water on Slow Fluorescence of the Algae *Chlorella vulgaris* Beijer and Survival Rate of the Cladoceran *Daphnia magna* Str. // *Contemporary Problems of Ecology*. 2011. V. 4 (1). P. 80–83. DOI: 10.1134/S1995425511010139
- [22] Sushkova S.N., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G. Elaboration and Approbation of Methods for Benzo[a]pyrene Extraction from Soils for Monitoring of the Ecological State in Technogenic Landscapes // *World Applied Sciences Journal*. 2013. V. 25 (10). P. 1432–1437. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.25.10.11237
- [23] MR 01.019-07. Opredeleniye integral'noy toksichnosti pochv s pomoshch'yu biotesta «Ekolum» [MR 01.019-07, Determination of integrated soil toxicity with the help of bioassay “Ecolum”]. M.: Federal'nyy tsentr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebnadzora [M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor], 2007.
- [24] Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. V. 124. P. 120–128. <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.10.005>
- [25] Liste H.H. Rhizosphere bacteria community and petrol hydrocarbon (PHC) biodegradation in soil planted to field crops // *Geograficheskiy vestnik*. 2011. V. 1 (16). S. 73–84.
- [26] Qin W., Zhu Y., Fan F., Wang Y., Liu X., Ding A., Dou J. Biodegradation of benzo(a)pyrene by *Microbacterium* sp. strain under denitrification: Degradation pathway and effects of limiting

electron acceptors or carbon source // *Biochemical Engineering Journal*. 2017. V. 121. P. 131–138.
<http://doi.org/10.1016/j.bej.2017.02.001>

Article history:

Received: 30.03.2017

Revised: 30.03.2017

For citation:

Buzmakov S.A., Egorova D.O., Gatina E.L. (2017) The dose-effect of oil pollution of soils on the biotic component of ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (2), 217–229.

Bio Note:

Buzmakov Sergey Alekseevich — Doctor of Geographical Sciences, Professor; Head of the Department of Biogeocenology and Nature Conservation, Faculty of Geography, Perm State National Research University. E-mail: lep@psu.ru

Egorova Darya Olegovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Biogeocenology and Nature Conservation, Faculty of Geography, Perm State National Research University. E-mail: daryao@rambler.ru

Gatina Evgenia Leonidovna — Candidate of Biological Sciences; Associate Professor of the Department of Biogeocenology and Conservation, Faculty of Geography, Perm State National Research University. E-mail: suslovael@mail.ru