

**Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв**

© 2019. С. Г. Скугорева<sup>1,2</sup>, к. б. н., н. с., Т. И. Кутявина<sup>1</sup>, к. б. н., с. н. с., С. Ю. Огородникова<sup>2</sup>, к. б. н., с. н. с., Л. В. Кондакова<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор, В. С. Симакова<sup>1,3</sup>, аспирант, А. Л. Блинова<sup>3</sup>, магистрант, Ю. Н. Зыкова<sup>3</sup>, к. б. н., доцент, Л. И. Домрачева<sup>2,3</sup>, д. б. н., профессор, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

<sup>1</sup>Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

<sup>2</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

<sup>3</sup>Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,

e-mail: dli-alga@mail.ru

Впервые проведена оценка состояния городских почв вблизи одной из автомоек г. Кирова с использованием различных методов физико-химического, микробиологического анализа и фитотестирования. Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне загрязнения почв нефтепродуктами, содержание которых превысило условно фоновое значение в 27–173 раза. Токсический эффект исследуемых урбанозёмов проявился в снижении каталазной активности, видового разнообразия фототрофов, диаметра колоний азотобактера, увеличении фитотоксичности по отношению к растениям ячменя и резком снижении численности живых клеток в популяции цианобактерии *Nostoc paludosum*. Между данными показателями и содержанием нефтепродуктов в пробах почв существует достаточно высокая обратная корреляционная связь ( $r = -0,67 - -0,92$ ). В исследуемых пробах зафиксирован эффект цианофитизации фототрофных популяций, параллельно с увеличением содержания нефтепродуктов эффект усиливался ( $r = 0,79$ ). Таким образом, результаты комплексного химико-биологического обследования показывают высокий уровень стрессовых воздействий на изучаемые индикаторные функции и тест-организмы, который постепенно снижался по мере удаления исследуемых участков от автомойки. Сравнительный анализ используемых физико-химических и биологических методов показал, что для определения степени загрязнения городских почв можно использовать три критерия: каталазную активность почвы, цианобактериальное биотестирование почвенной вытяжки и определение индекса роста высшего растения.

**Ключевые слова:** городские почвы, нефтепродукты, каталазная активность, биоиндикация, фитотестирование, цианобактериальное тестирование.

**Integrated approach to environmental assessment of urban soil**

© 2019. S. G. Skugoreva<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-5902-5187<sup>?</sup>

T. I. Kutyavina<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7957-0636<sup>?</sup>, S. Yu. Ogorodnikova<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-8865-4743<sup>?</sup>

L. V. Kondakova<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-2190-686X<sup>?</sup>, V. S. Simakova<sup>1,3</sup> ORCID: 0000-0003-0250-1936<sup>?</sup>

A. L. Blinova<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-8912-1081<sup>?</sup>, Yu. N. Zyкова<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-0711-250X<sup>?</sup>

L. I. Domracheva<sup>2,3</sup> ORCID: 0000-0002-7104-3337<sup>?</sup>

T. Ya. Ashikhmina<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0003-4919-0047<sup>?</sup>

<sup>1</sup>Vyatka State University, 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

<sup>2</sup>Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

<sup>3</sup>Vyatka State Agricultural Academy, 133, Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017, e-mail: dli-alga@mail.ru

For the first time, an assessment of the state of urban soils near one of the car washes in Kirov was made using various methods of physicochemical, microbiological analysis and phytotesting. The data obtained indicate a high level of soil contamination with oil products, the content of which exceeded the conditionally background value by 27–173 times. The toxic effect of the studied urbanozems was manifested in a decrease in catalase activity, species diversity of phototrophs, the diameter of the colonies of the azotobacter, an increase in phytotoxicity to barley plants, and a sharp decrease in the number of living cells in the *Nostoc paludosum* cyanobacteria population. There is a rather high inverse correlation relationship ( $r = -0.67$ – $-0.92$ ) between these indicators and the content of oil products in soil samples. In the samples under study, the effect of cyanophytization of phototrophic populations was recorded; in parallel with an increase in the content of oil products, the effect intensified ( $r = 0.79$ ). Thus, the results of a comprehensive chemical and biological examination show a high level of stressful effects on the studied indicator functions and test organisms, which gradually decreased as the studied areas moved away from the car wash. A comparative analysis of the physicochemical and biological methods used showed that three criteria can be used to determine the degree of contamination of urban soils: catalase activity of the soil, cyanobacterial bioassay of soil extract and determination of the growth index of higher plants.

**Keywords:** urban soils, oil products, catalase activity, bioindication, phytotesting, cyanobacterial testing.

В последние годы в связи с ростом количества автомобильного транспорта существенно пополнился список поллютантов, загрязняющих городские почвы [1]. В частности, на автомойках широко используются автомобильные шампуни, относящиеся к синтетическим поверхностно-активным веществам (СПАВ), отрицательное действие которых на живые организмы неоднократно отмечалось [2].

Поверхностно-активные вещества выбрасываются в различные элементы окружающей среды (ОС) (атмосферу, воду и почву), где они могут подвергаться многочисленным физико-химическим процессам (сорбции, деградации) и свободно мигрировать [3, 4]. Кроме того, СПАВ, присутствующие в ОС, накапливаются в живых организмах, что может отрицательно влиять на биологические компоненты экосистем [5–7].

Известно, что микроорганизмы (МО) способны участвовать в разложении СПАВ. Например, выделено 2 штамма бактерий рода *Pseudomonas* – С12 и С12В, которые активно разрушали анионные ПАВ [8]. Методом накопления получен один штамм *Ps. fluorescens* и два штамма *Nocardia* sp., способные использовать в качестве единственного источника углерода анионные ПАВ.

Цель данной работы – оценить состояние почвы вблизи городской автомойки с использованием физико-химических и биологических методов; сравнить чувствительность использованных методов для оценки экологического состояния обследованных почв.

### Объекты и методы исследования

Образцы почв отбирали осенью 2018 г. с глубины 0–10 см в одном из окраинных районов г. Кирова на трёх участках, расположенных на расстоянии 3, 6 и 9 м от автомойки, куда попадают стоки, в которых могут содер-

жаться автошампуни и бензин. По гранулометрическому составу изученные пробы почв в основном песчаные и супесчаные. В качестве условного фона использовали образцы дерново-подзолистой почвы, не подверженной техногенному воздействию.

**Химические методы исследования.** Определение массовой концентрации ионов в водных вытяжках из почвы (соотношение почва : вода равно 1 : 2,5) проводили методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» по ФР.1.31.2008.01724 и ФР.1.31.2008.01738, водородный показатель водной ( $pH_{\text{водн}}$ ) и солевой ( $pH_{\text{KCl}}$ ) вытяжек измеряли на pH-метре-иономере «Эксперт-001», электропроводность – на кондуктометре «Cond 340i» по РД 52.24.495-2005, содержание органического вещества – фотометрически по методу Тюрина в модификации ЦИНАО на спектрофотометре «UNICO 2800» по ГОСТ 26213-94, нефтепродуктов – флуориметрически анализаторе «Флюорат-02» по ПНД Ф 16.1:2.21-98. Активность почвенной каталазы определяли газометрическим методом, основанном на измерении объёма кислорода, который выделяется при взаимодействии почвы с пероксидом водорода [9].

### Методы биоиндикации и биотестирования

**Альгоиндикация.** Навеску исследуемой почвы массой 60 г помещали в стерильные чашки Петри и увлажняли до 60% от полной влагоёмкости (ПВ). На выровненную поверхность раскладывали покровные стёкла (стёкла обрастания). Далее чашки Петри со стёклами обрастания оставляли на 30 суток при естественном освещении. После истечения времени экспозиции во всех вариантах методом микроскопирования определяли видовой состав водорослей и цианобактерий (ЦБ).

**Индикация состояния почвы с помощью азотобактера.** Комочки исследуемой почвы раскладывали на агаризованной среде Эшби, наблюдая в дальнейшем за степенью обраста-

ния их бактериями р. *Azotobacter*, меланизации и за размером бактериальных колоний [10, 11].

**Фитотестирование.** В качестве тест-организма использовали семена ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Изумруд, который характеризуется быстрым ростом и развитием. Образцы почвы массой 35 г помещали в стерильные чашки Петри, раскладывая на увлажнённой и выровненной поверхности почвы по 10 семян. Повторность опыта пятикратная. Экспозиция опыта составляла 7 суток при  $t = +22-24$  °С. Перед закладкой опыта проводили калибровку семян: убирали семена с повреждениями, сколами, плесенью и недозревшие. Во всех вариантах в течение срока экспозиции влажность почвы поддерживали на уровне 60% от ПВ. При снятии опыта определяли следующие параметры: всхожесть семян (на 7-е сутки), морфометрические параметры проростков ячменя – длину корня и побега по ГОСТ 12038-84 и ФР.1.39.2006.02264. Кроме того, определяли индекс роста I по формуле [12]:

$$I = (R + P) \cdot D,$$

где R и P – суммарные значения длин корней и проростков, см; D – доля проросших семян.

**Цианобактериальное тестирование** проводили с использованием ЦБ *Nostoc paludosum* тетразолю-топографическим методом, основанном на определении дегидрогеназной активности по образованию в живых клетках кристаллов 2,3,5-трифенилформазана яркомалинового цвета из бесцветного 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида [13].

Математическую обработку полученных данных осуществляли с использованием стандартных методов в программном пакете Microsoft Office Excel.

### Результаты и обсуждение

Для изученных образцов почв отмечена слабощелочная реакция среды (табл. 1), что

характерно для городских почв в целом [14]. Для сравнения,  $pH_{KCl}$  дерново-подзолистых почв Кировской области составляет в среднем 4,8 [15], а ненарушенных дерново-карбонатных почв г. Кирова – 6,0–7,2 ед. pH [16]. При удалении от автомойки степень кислотности исследуемых почв различается незначительно. Содержание органического вещества в почвах, отобранных на расстоянии 3 и 9 м от автомойки, соответствует значениям, отмеченным ранее для селитебной зоны г. Кирова [17], а в пробе, отобранной на расстоянии 6 м от автомойки, близко к значениям, характерным для зональных почв [16].

Так как для городских почв характерен промывной тип водного режима, зимнее промерзание, поступление солей, применяемых для обработки автодорожных покрытий, почвы по своим свойствам становятся близки к засоленным. Важной характеристикой таких почв является ионный состав водных вытяжек. Данные по электропроводности и содержанию неорганических ионов в водных вытяжках из исследуемых почв представлены в таблице 2. По результатам хроматографического анализа наиболее обеспеченной элементами питания является почва фоновое участка. В вытяжке из этой почвы определены максимальные значения электропроводности, содержания ионов аммония, калия, магния, кальция, фосфат-ионов. Вытяжки из почвы участков, находящихся в 3 и 6 м от автомойки, очень близки по ионному составу. Почва участка, самого удалённого от автомойки, имеет более высокие значения содержания неорганических ионов, в ней преобладают ионы натрия, кальция, хлорид- и сульфат-ионы, что может быть связано с поступлением солей, используемых для обработки дорог от наледи.

Для оценки загрязнения почв нефтепродуктами (НП) использовали их условно фоновое содержание (УФС) для районов, не ведущих добычу нефти (40 мг/кг) [18], шкалу уровней загрязнения НП [19], а также данные, полученные другими авторами для аналогичных территорий.

Физико-химические свойства почвы / Physico-chemical properties of the soil Таблица 1 / Table 1

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	$pH_{водн.}$ ед. pH $pH_{water}$ , units of pH	$pH_{KCl}$ ед. pH $pH_{KCl}$ , units of pH	Органическое вещество, % Organic matter, %
3	7,9±0,1	7,6±0,1	9,2±0,9
6	7,9±0,1	7,5±0,1	2,4±0,5
9	7,7±0,1	7,3±0,1	13,0±1,3
Фон / Background	7,8±0,1	7,1±0,1	7,2±0,7

Таблица 2 / Table 2

Ионный состав и электропроводность водных вытяжек из почв  
Ionic composition and conductivity of water extracts from soils

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Eh*, мк См/см Eh, µS/cm	Содержание ионов, мг/л / Content of ions, mg/L								
		Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
3	256	13,4± 2,0	3,23± 0,32	5,1± 0,8	4,1± 0,4	42± 4	4,3± 0,4	0,29± 0,04	< 0,2	19,0± 2,9
6	236	18,7± 2,8	< 0,1	5,7± 0,9	2,48± 0,25	33,9± 3,4	2,49± 0,25	< 0,1	< 0,2	7,3± 1,1
9	325	39±6	< 0,1	9,2± 1,4	3,25± 0,33	38,0± 3,8	13,3± 1,3	0,39± 0,06	3,20± 0,32	10,2± 1,5
Фон Background	384	1,75± 0,26	6,5± 0,6	10,6± 1,6	6,5± 0,7	74± 7	5,4± 0,5	< 0,1	3,61± 0,36	4,3± 0,6

Примечание: Eh – электропроводность, \* – погрешность измерения 5%.

Note: Eh is the electrical conductivity, \* – the measurement error is 5%.

Таблица 3 / Table 3

Содержание нефтепродуктов в почвах / Content of oil products in soils

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Нефтепродукты, мг/кг Oil products, mg/kg	Кратность превышения УФС, раз The multiplicity of excess UFS, times	Уровень загрязнения нефтепродуктами* The level of oil pollution
3	6900±1700	173	очень высокий / very high
6	1080±270	27	низкий / low
9	2200±500	55	средний / middle
Фон / Background	24±9	0,6	не загрязнена / not polluted

Примечание: УФС – условно фоновое содержание [15]; \* – градация согласно [19].

Note: UFS – conditionally background content [15]; \* – gradation according to [19].

Согласно полученным результатам, содержание НП в пробах, отобранных у автомойки, превышает УФС в 27–173 раза (табл. 3). Уровень загрязнения НП изменяется от низкого до очень высокого. Максимальное содержание НП, отмеченное в 3 м от автомойки, может быть связано с утечкой НП от автотранспорта. Содержание НП в дерново-подзолистой почве, не подверженной техногенному воздействию («фон» в табл. 3), почти в 2 раза ниже, чем УФС.

В работе [20] отмечено, что содержание НП у автозаправочных станций (АЗС) г. Кирова варьировало от 520 до 4820 мг/кг (определение проводили методом инфракрасной спектрофотометрии), уровень загрязнения НП изменялся от допустимого до высокого. Несмотря на то, что для определения НП у АЗС и автомойки использовали разные методы, результаты получились сопоставимые. В г. Архангельске вблизи автодорожного полотна в разных участках города содержание НП в почве в среднем составляет от 470 до 1300 мг/кг [24]. Авторы отмечают, что на содержание НП влияет множество факторов: транспортная нагрузка территории, гранулометрический со-

став и тип почв, фракционный состав НП, абiotические факторы среды и др.

Активность каталазы в почвах, расположенных на разном расстоянии от автомойки, варьировала от 0,62 до 0,97 мл O<sub>2</sub>/(г почвы • мин) (табл. 3). Минимальное значение активности фермента отмечено на участке, который находится вблизи автомойки. По мере удаления от источника загрязнения активность каталазы в почве возрастала. Выявлена тесная обратная корреляция между активностью почвенной каталазы и расстоянием от автомойки (r = -0,917). Низкая активность каталазы служит косвенным доказательством угнетения жизнедеятельности комплекса почвенных МО, которые выделяют пероксид водорода в процессе дыхания и других биохимических процессов.

**Результаты биомониторинговых исследований.** Результаты альгоиндикации показали, что максимальное видовое обилие характерно для почвы фонового варианта. По мере приближения к автомойке в почве сокращается число обнаруженных видов водорослей и ЦБ (табл. 4). Наиболее чувствительными оказались предста-

Таблица 3 / Table 3

Каталазная активность почв, мл O<sub>2</sub>/(г почвы • мин)  
Catalase activity of soils, ml O<sub>2</sub>/(g soil • min)

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	3	6	9	Фон / Background
Активность каталазы Activity of a catalase	0,62±0,03	0,85±0,05	0,95±0,15	0,97±0,15

Таблица 4 / Table 4

Биоиндикация состояния почвы по видовому обилию микрофототрофов  
Bioindication of a condition of the soil on specific abundance of microphototrophs

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Суано- bacteria	Отделы водорослей Phylums of algae			Всего видов/ процент от фона / In total species/percent from background	Содержание цианобактерий в фототрофных популяциях, % The content of cyanobacteria in phototrophic populations, %
		Cloro- phyta	Xantho- phyta	Bacilla- riophyta		
3	4	–	1	–	5/29,4	80,0
6	6	–	1	2	9/52,9	66,7
9	6	3	1	3	13/76,5	46,2
Фон Background	6	5	3	3	17/100,0	35,3

Примечание: прочерк обозначает отсутствие представителей данного отдела водорослей.  
Note: a dash indicates the absence of representatives of this phylum of algae.

вители зелёных водорослей, которые полностью отсутствуют в почвенных образцах, отобранных на расстоянии 3 и 6 м от автомойки. К видам фототрофов, чье представительство обнаружено во всех исследованных экотопах, относятся *Leptolyngbya angustissima* (W. et G.S. West) Anagn. et Kom., *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot (Cyanobacteria) и *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (Xanthophyta). При этом, если в фоновом варианте ЦБ составляют чуть больше 35% от общего видового обилия, то на расстоянии 3 м от автомойки этот показатель составляет 80%, а на расстоянии 6 м – 66,7%, т. е. в случае загрязнения почвы СПАВ наблюдается феномен цианофитизации.

Индикация состояния почвы с использованием бактерий р. *Azotobacter* показала, что во всех вариантах наблюдается 100%-ное

обрастание комочков почвы азотобактером (табл. 5). Вероятно, это объясняется тем, что в течение нескольких лет существования автомойки под влиянием попадающих в почву стоков произошла селекция азотобактера на устойчивые формы, обеспечивающая их выживание при пролонгированном действии стресс-факторов.

В то же время, другие показатели, характеризующие состояние популяций азотобактера, отличаются от фоновых. Отмечается преобладание пигментированных форм (до 88% вблизи автомойки против 22% в почве фонового участка). Кроме того, показано, что ореол роста бактерий вокруг комочков почвы достигал максимума в варианте с фоновой почвой и был существенно ниже в зоне влияния автомойки (от 24 до 40%). Причём, между количеством

Таблица 5 / Table 5

Биоиндикация состояния почвы с использованием бактерий р. *Azotobacter*  
Bioindication of the soil with use of bacteria of *Azotobacter* genus

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Степень обрастания комочков почвы, % Extent of fouling of lumps of the soil, %	Количество окрашенных колоний, % Quantity of painted colonies, %	Средний диаметр колоний, мм Average diameter colonies, mm
3	100	88	3,6±0,6
6	100	42	3,8±0,9
9	100	88	3,8±0,6
Фон / Background	100	22	5,0±1,0

окрашенных колоний бактерий р. *Azotobacter* и содержанием НП в почве степень корреляции достаточна высока ( $r = 0,77$ ).

При фитотестировании с использованием ячменя было установлено, что наиболее ёмким показателем состояния растений является индекс роста, при вычислении которого учитываются и морфометрические показатели (высота проростков и длина корней), а также процент проросших семян (табл. 6). Величина данного показателя однозначно диагностирует фитотоксичность почвы на участках, расположенных на расстоянии 3 и 6 м от автомойки.

**Цианобактериальное биотестирование.** Для проведения данной работы использовали почвенную вытяжку, в которую помещали тест-организм ЦБ *Nostoc paludosum*. Определение состояния цианобактериальной популяции после использования в качестве акцептора водорода 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида показало, что в опытных образцах происходит резкое снижение количества жизнеспособных клеток (табл. 7).

Результаты комплексного химико-биологического обследования городских почв показывают, что по всем определяемым параметрам наибольший токсикоз почвы характерен для участка, расположенного на расстоянии 3 м от автомойки (табл. 9). При максимальном содержании НП в почве (6900 мг/кг) наблюдаются минимальные показатели каталазной активности, среднего

диаметра колоний азотобактера, количества видов фототрофов, индекса роста ячменя, содержания живых клеток в популяции ЦБ *N. paludosum*, определяемого по накопленному формазану. Расчёт показал достаточно высокую обратную корреляционную связь между данными показателями:  $r$  изменяется в пределах от  $-0,670$  до  $-0,917$ , достигая максимума для каталазной активности почвы ( $p = 0,042$ ). По содержанию ЦБ в фототрофных популяциях взаимосвязь с содержанием НП была прямая и достаточно высокая ( $r = 0,790$ ): чем больше НП содержалось в почве, тем выше был вклад ЦБ в состав фототрофных популяций (до 80% на участке в 3 м от автомойки).

В почвенных образцах с участков, удалённых от автомойки на большее расстояние, наблюдается постепенное снижение стрессового воздействия поллютантов на тест-организмы и организмы-индикаторы. При этом наиболее чёткая реакция прослеживается при анализе таких показателей, как индекс роста ячменя, видовое обилие фототрофов и дегидрогеназная активность ЦБ.

Сравнение показателей, полученных с использованием различных методов, показывает, что большинство из них имеет высокую степень отрицательной корреляционной связи с содержанием НП. Однако, из физико-химических методов наиболее чувствительным было определение активности почвенной каталазы, которая является инте-

Таблица 6 / Table 6  
Фитотестирование состояния почвы с использованием ячменя сорта Изумруд  
Phytotesting of the soil with use of barley of a sort Izumrud

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Всхожесть, % Viability, %	Высота проростка, см Height of a sprout, cm	Длина корней, см Length of roots, cm	Индекс роста Index of growth
3	36,6	5,4±1,1	10,1±3,1	567
6	50,0	5,5±2,8	11,0±4,1	824
9	75,0	10,3±3,2	7,6±3,3	1341
Фон / Background	93,3	9,0±2,2	7,0±2,9	1489

Таблица 7 / Table 7  
Биотестирование городских почв с использованием цианобактерии *Nostoc paludosum*  
Biotesting of urban soil with use of a cyanobacterium *Nostoc paludosum*

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Клетки цианобактерий, % / Cells of cyanobacteria, %	
	жизнеспособные / viable	нежизнеспособные / unviable
3	44,5	55,5
6	55,3	44,7
9	78,2	29,8
Фон / Background	80,8	19,2

Таблица 8 / Table 8

Результаты комплексной экологической оценки почв вблизи автомойки  
Results of complex environmental monitoring of soils near car wash

Расстояние от автомойки, м Distance from car wash, m	Нефтепродукты, мг/кг Oil products, mg/kg	Каталазная активность, мл O <sub>2</sub> / (г почвы • мин) Catalase activity, ml O <sub>2</sub> / (g soil • min)	Количество видов фототрофов / процент от фона Quantity of phototrophic species / percent from background	Содержание цианобактерий в фототрофных популяциях, % The content of cyanobacteria in phototrophic populations, %	Индекс роста ячменя Index of growth of barley	Содержание жизнеспособных клеток в популяции <i>N. paludosum</i> , % The content of viable cells in population of <i>N. paludosum</i> , %	Средний диаметр колоний азотобактера, см Average diameter of colonies of an azotobacter, cm
3	6900±1700	0,62±0,03	5/29,4	80,0	566,9	44,5	3,6±0,6
6	1080±270	0,85±0,05	9/52,9	66,7	824,0	55,3	3,8±0,9
9	2200±500	0,95±0,15	13/76,5	46,2	1341,0	78,2	3,8±0,6
Фон Background	24±9	0,97±0,15	17/100,0	35,3	1489,1	80,8	5,0±1,0
r		-0,917	-0,831	0,790	-0,757	-0,743	-0,670
p		0,042	0,085	0,105	0,121	0,129	0,165

Примечание: r – коэффициент корреляции между показателем биотестирования/биоиндикации и содержанием нефтепродуктов в почве, p – уровень значимости.

Note: r is the correlation coefficient between the bioassay/bioindication indicator and the content of oil products in the soil; p – significance level.

гральным показателем дыхательной активности почвы. Применяемые методы биомониторинга высокочувствительны, однако по степени трудоёмкости и квалификации исполнителей наиболее сложным является определение видового состава микрфототрофов. Поэтому для оценки экологического состояния почвы вполне достаточно использование индекса роста высшего растения и определение жизнеспособности ЦБ. Таким образом, для оценки степени загрязнения городских почв можно использовать три критерия: каталазную активность почвы, цианобактериальное биотестирование почвенной вытяжки и определение индекса роста высшего растения.

### Заключение

Проведённый химико-биологический анализ городских почв, расположенных в 3, 6 и 9 м от одной из автомоек г. Кирова свидетельствует о высоком уровне загрязнения НП, содержание которых составило 1080–6900 мг/кг, что превысило условно фоновое значение в 27–173 раза. Токсический эффект городских почв проявился при определении таких диагностических параметров как: каталазная активность, видовое разнообразие фототрофов, диаметр колоний азотобактера, фитотоксичность по отношению к растениям ячменя и резкое снижение численности живых кле-

ток в популяции ЦБ *N. paludosum*. Между данными показателями и содержанием НП в почвах существует достаточно высокая обратная корреляционная связь (r от -0,670 до -0,917). В городских почвах проявился эффект цианофитизации фототрофных популяций, причём с увеличением содержания НП эффект усиливался (r = 0,790). Таким образом, результаты комплексной оценки экологического состояния почв показывают высокий уровень стрессовых воздействий на изучаемые индикаторные функции и тест-организмы, который постепенно снижается по мере удаления исследуемых участков от автомойки.

Сравнительный анализ используемых физико-химических и биологических методов показал, что для определения степени загрязнения городских почв можно использовать три критерия: каталазную активность почвы, цианобактериальное биотестирование почвенной вытяжки и определение индекса роста высшего растения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» № 5.4962.2017/БЧ; государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на при-

*родные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2012-0003.*

### Литература

1. Особенности урбанизации подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: ВятГГУ, 2012. 282 с.
2. Домрачева Л.И., Симакова В.С. Реакции про- и эукариотных микроорганизмов на действие синтетических поверхностно-активных веществ (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 1. С. 5–17.
3. Rao P., He M. Adsorption of anionic and nonionic surfactant mixtures from synthetic detergents on soils // *Chemosphere*. 2006. V. 63 (7). P. 1214–1221.
4. Scott M.J., Jones M.N. The biodegradation of surfactants in the environment (review) // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 2000. V. 1508. No. 1–2. P. 235–251.
5. Guixiang L., Guihong L., Yongqiang L., Chen Ch., Lin L., Jiao D., Yingchun L., Qiang L., Guoyong D., Jihong Zh. Evaluation of biodegradability and biotoxicity of surfactants in soil // *RSC Adv*. 2017. V. 7. P. 31018–31026.
6. Olkowska E., Ruman M., Polkowska Z. Occurrence of surface active agents in the environment // *J. Anal. Methods Chem*. 2014. Jan 16. P. 769–708.
7. Watanabe M., Ohyanagi H., Saitoh Y. Experimental study on anaphylactic effects by Fluosol-DA // *J. Artif. Organs*. 1988. V. 17. P. 1513–1522.
8. Roberts M.H., Warinner J.E., Tsai C., Wright D., Cronin L.E. Comparison of estuarine species sensitivities to three toxicants // *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 1982. No. 11. P. 681–692.
9. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
10. Зенова Г.М., Степанова А.Л., Лихачева А.А., Манчурова Н.А. Практикум по биологии почв. М.: Изд-во МГУ, 2002. 120 с.
11. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О развитии *Azotobacter chroococcum* Beijerinck в старовозрастных отвалах антрацита // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 1. С. 60–72.
12. Андреева О.А., Кожевин П.А. Валидность методов фитотестирования при контроле микробных препаратов, полученных на основе естественных микробных сообществ // Биодиганостика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии: Матер. международного симпозиума и молодежной школы. М.: ГЕОС, 2016. С. 317–318.
13. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

14. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
15. Ефремова В.А., Дабах Е.В., Кондакова Л.В. Химико-биологическая оценка состояния городских почв // Сибирский экологический журнал. 2013. № 5. С. 741–750.
16. Тюлин В.В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, 1976. 288 с.
17. Широких И.Г., Соловьева Е.С., Ашихмина Т.Я. Комплексы актиномицетов в почвах промышленной и селитебной зон Кирова // Почвоведение. 2014. № 2. С. 203–209.
18. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической ёмкости территорий. М.: Академия естествознания, 2009. 137 с.
19. Письмо Минприроды РФ № 04-25 Роскомзема № 61-5678 от 27.12.93 О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/9033369> (Дата обращения: 07.08.2019).
20. Олькова А.С., Зимонина Н.М., Лялина Е.И., Бобрецова В.Р. Диагностика локального загрязнения урбанозёмов в районах автозаправочных станций // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 56–62.
21. Вишнева Ю.С., Попова Л.Ф. Влияние автотранспорта на содержание углеводов нефтепродуктов в почвах селитебного ландшафта г. Архангельска // *Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн*. 2016. № 4 (22). [Электронный ресурс] <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3025> (Дата обращения: 09.08.2019).

### References

1. Features of an urbanization of a subband of the southern taiga of the European Northeast / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: VyatGGU, 2012. 282 p. (in Russian).
2. Domracheva L.I., Simakova V.S. Reactions of pro- and eukaryotic microorganisms to the action of synthetic surfactants (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 1. P. 5–17 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-1-005-017
3. Rao P., He M. Adsorption of anionic and non-ionic surfactant mixtures from synthetic detergents on soils // *Chemosphere*. 2006. V. 63 (7). P. 1214–1221. doi: 10.1016/j.chemosphere.2005.08.067
4. Scott M.J., Jones M.N. The biodegradation of surfactants in the environment (review) // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 2000. V. 1508. No. 1–2. P. 235–251. doi: 10.1016/S0304-4157(00)00013-7
5. Guixiang L., Guihong L., Yongqiang L., Chen Ch., Lin L., Jiao D., Yingchun L., Qiang L., Guoyong D., Jihong Zh. Evaluation of biodegradability and biotoxicity of surfactants in soil // *RSC Adv*. 2017. V. 7. P. 31018–31026. doi: 10.1039/C7RA02105D

6. Olkowska E., Ruman M., Polkowska Ż. Occurrence of surface active agents in the environment // J. Anal. Methods Chem. 2014. Jan 16. P. 769–708. doi: 10.1155/2014/769708
7. Watanabe M., Ohyanagi H., Saitoh Y. Experimental study on anaphylactic effects by Fluosol-DA // J. Artif. Organs. 1988. V. 17. P. 1513–1522.
8. Roberts M.H., Warinner J.E., Tsai C., Wright D., Cronin L.E. Comparison of estuarine species sensitivities to three toxicants // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1982. No. 11. P. 681–692.
9. Khaziev F.Kh. Methods of soil enzymology. Moskva: Nauka, 2005. 252 p. (in Russian).
10. Zenova G.M., Stepanova A.L., Likhacheva A.A., Manchurova N.A. Workshop on biology of soils. Moskva: MGU, 2002. 120 p. (in Russian).
11. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. About the development of *Azotobacter chroococcum* Beiyrinck in old-age dumps of anthracite // Theoretical and Applied Ecology. 2018. No. 1. P. 60–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2018-1-060-072
12. Andreeva O.A., Kozhevnikov P.A. Validity of methods of phytotesting at control of the microbial medicines received on the basis of natural microbial communities // Biodiagnostics and assessment of quality of the environment: approaches, methods, criteria and standards of comparison in ecotoxicology: Mater. mezhdunarodnogo simpoziuma i molodezhnoy shkoly. Moskva: GEOS, 2016. P. 317–318 (in Russian).
13. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Ashikhmina T.Ya., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Fokina A.I. Application of a tetrazol-topographical method of determination of degidrogenazny activity of cyanobacteria in the polluted environments // Theoretical and Applied Ecology. 2008. No. 2. P. 23–28 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2008-2-023-028
14. Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofeva T.V. Anthropogenic soils. Genesis, geography, reclamation. Smolensk: Oykumena, 2003. 268 p. (in Russian).
15. Efremova V.A., Dabakh E.V., Kondakova L.V. Chemical-biological assessment of urban soils // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2013. No. 5. P. 741–750 (in Russian).
16. Tyulin V.V. Soils of the Kirov region. Kirov: Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, 1976. 288 p. (in Russian).
17. Shirokikh I.G., Soloveva E.S., Ashikhmina T.Ya. Complexes of actinomycetes in the soils of the industrial and residential zones of Kirov // Soil Science. 2014. No. 2. P. 203–209 (in Russian). doi: 10.7868/S0032180X1300122
18. Musikhina E.A. Methodological aspect of technology integrated assessment of ecological capacity of territories. Moskva: Akademiya Estestvoznaniya, 2009. 137 p. (in Russian).
19. Letter of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Russian Federation No. 04–25 and the Committee of the Russian Federation for Land Resources and Land Development No. 61–5678 dated 12/27/93. About the procedure for determining the extent of damage from chemical pollution of land [Internet resource] <http://docs.cntd.ru/document/9033369> (Accessed: 07.08.2019) (in Russian).
20. Olkova A.S., Zimonina N.M., Lyalina E.I., Bobretsova V.R. Diagnosis of local pollution of urban soils in the areas of petrol stations // Theoretical and Applied Ecology. 2017. No. 1. P. 56–62 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-056-062
21. Vishnevaya Yu.S., Popova L.F. The influence of vehicles on the hydrocarbon content of oil products in the soils of the residential landscape of the city of Arkhangelsk // Universum: Khimiya i biologiya : elektron. nauchn. zhurn. 2016. No. 4 (22). [Internet resource] <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3025> (Accessed: 09.08.2019) (in Russian).