

## Влияние фосфорсодержащих автошампуней на развитие почвенных цианобактерий

© 2016. В. С. Симакова<sup>1</sup>, аспирант, Л. И. Домрачева<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор,  
С. Ю. Огородникова<sup>2,3</sup>, к. б. н., доцент, А. И. Фокина<sup>3</sup>, к. б. н., доцент,  
Т. Я. Ашихмина, д. т. н., профессор, зав. лабораторией<sup>2</sup>, зав. кафедрой<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

<sup>2</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

<sup>3</sup> Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,  
e-mail: dli-alga@mail.ru

Впервые исследовано влияние трёх различных фосфорсодержащих автошампуней марок Концентрат, Felix и Uni, относящихся к синтетическим поверхностно-активным веществам, на развитие и физиологическое состояние почвенных цианобактерий *Nostoc paludosum* и *Fischerella muscicola*. Показано, что под влиянием автошампуней в концентрациях, применяемых для мойки машин, происходит изменение таких показателей состояния цианобактериальных популяций, как их численность и дегидрогеназная активность. Сила угнетающего эффекта автошампуней на цианобактериальные популяции зависит от марки автошампуня, его концентрации, вида цианобактерий. При определении дегидрогеназной активности клеток цианобактерий тетразольно-топографическим методом, основанном на вычислении соотношения живых клеток с кристаллами формазана и нежизнеспособных (без формазана), а также при количественном спектрофотометрическом методе определения формазана выявлены тождественные реакции цианобактерий на действие испытуемых поллютантов, что позволяет использовать оба метода для определения степени токсичности автошампуней. Установлена высокая токсичность автошампуня Uni для исследуемых видов цианобактерий и повышенная чувствительность *Fischerella muscicola* ко всем тестируемым автошампуням.

**Ключевые слова:** синтетические поверхностно-активные вещества, автошампуню, цианобактерии, формазан, токсичность, биотестирование.

## Effect of phosphorus autoshampoos on the development of soil cyanobacteria

V. S. Simakova<sup>1</sup>, L. I. Domracheva<sup>1,2</sup>, S. Yu. Ogorodnikova<sup>2,3</sup>,  
A. I. Fokina<sup>3</sup>, T. Ya. Ashikhmina<sup>2,3</sup>,

<sup>1</sup> Vyatka State Agricultural Academy,  
133 Oktyabrsky Prospect, Kirov, Russia, 610017,

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

<sup>3</sup> Vyatka State University,  
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,  
e-mail: dli-alga@mail.ru

For the first time the effect of three different brands of car shampoo concentrate was studied, as well as of Uni of Felix, related to synthetic surfactants, on the development and physiological status of soil cyanobacteria *Nostoc paludosum* and *Fischerella muscicola*. So far, it is shown that under the influence of car shampoo in the concentrations used for washing autos, the following indicators of cyanobacterial populations are changed: their number and dehydrogenase activity. The inhibitory effect on autoshampoos on cyanobacterial populations depends on the brand of car shampoo, their concentration, as well as on the type of cyanobacteria. It was found out at determining the dehydrogenase activity of cyanobacteria cells with the help of tetrazole-topographical method based on calculation of the ratio of living cells containing formazan crystals and those without formazan, as well as with the help of a quantitative spectrophotometric method of formazan determination, that cyanobacteria react to pollutants identically, which allows to use the both methods for determining the degree of toxicity of autoshampoos. The high toxicity of Uni autoshampoos was stated for the cyanobacteria species under research, and *Fischerella muscicola* is hypersensitive to all the tested autoshampoos.

**Keywords:** synthetic surfactants, autoshampoos, cyanobacteria, formazan, toxicity, biological testing.

Антропогенный пресс на почву приводит к существенным изменениям в статусе микробных группировок. Поллютанты, привносимые в почву при техногенном загрязнении, могут оказывать как острое (при первичном поступлении), так и хроническое (при длительном присутствии в почве) действие на развитие микробиоценозов. Разнообразие почвенной микрофлоры и разнообразие загрязняющих веществ не позволяют создать стройную концепцию эволюции микробных сообществ, так как техногенный фактор может и стимулировать, и ингибировать микробиологические процессы. Неоднократно отмечалось, что под воздействием таких поллютантов, как тяжёлые металлы [1–3], пестициды [4, 5], нефть и нефтепродукты [6], фосфорорганические соединения [7], меняется состав и численность различных групп микроорганизмов, их ферментативная активность, другие физиологические и биохимические функции [8, 9]. Подобные изменения зафиксированы и у почвенных цианобактерий (ЦБ), которые в серии исследований рассматриваются как организмы-индикаторы на техногенное загрязнение почвы (эффект цианофитизации) [10], а также в качестве тест-организмов при испытании степени токсичности различных соединений тетразольно-топографическим методом [11, 12].

К числу поллютантов, циркулирующих в природных экосистемах, относятся и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), которые широко применяются в промышленности и содержатся во многих средствах бытовой химии. Резкое увеличение легковых автомобилей привело к распространению автомоек с применением в них СПАВ в виде автошампуней.

Особенность СПАВ – чрезмерная стойкость к деградации, что приводит к их длительной сохранности в различных экотопах и включению в биогенные круговороты [13]. При этом показано, что многие СПАВ токсикологически действуют на представителей биоты различного систематического положения [14]. В частности, сублетальные концентрации СПАВ у ряда водорослей нарушают подвижность половых клеток и спорообразование, изменяют содержание фотосинтезирующих пигментов у *Chlorella vulgaris* [15]. Отмечалось усиление вакуолизации клеток под действием СПАВ у *Chlamydomonas reinhardtii*, из 21 вида водорослей выживает всего 6, принадлежащих к отряду Bacillariophyta [16].

Цель данной работы – установить характер действия некоторых автошампуней на количественные и физиологические показатели альгологически чистых культур ЦБ.

## Материалы и методы

В работе использовано три марки автошампуней: Концентрат (с катионными и амфотерными ПАВ), произведённый в ООО «ПК «АБХим» (г. Киров, Кировская область), Felix (с неионогенными и амфотерными ПАВ), произведённый в г. Дзержинске Нижегородской области, и Uni (с анионоактивными и неионогенными ПАВ), произведённый в Германии. Массовая концентрация фосфора в автошампунях Концентрат составляет 0,10, Felix – 0,075 и Uni – 1,00 мг/дм<sup>3</sup> [19].

В первой серии опытов исследования проводили, используя альгологически чистую культуру ЦБ *Nostoc paludosum* Kütz. № 18 из коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии агрономического факультета Вятской ГСХА. Выращивание ЦБ проводили в течение 12 недель при температуре 22–24 °С и 12-часовом освещении, после чего испытывали характер действия на ЦБ данных автошампуней в разбавлениях, рекомендуемых для практического использования (табл. 1).

Опыт проводили методом чашечных культур со стёклами обрастания на промытом прокалённом песке в чашках Петри с массой песка 50 г. Затем вносили следующие разбавления автошампуней (1 рекомендуемая доза, или 1 р. д.): автошампунь Концентрат – 10 г / на 1 л, автошампунь Felix – 35 г / 1 л, и автошампунь Uni – 30 г / 1 л, однократно (табл. 1). Общий объём жидкости составлял 10 мл.

В контроле песок увлажняли дистиллированной водой. В каждый вариант опыта добавляли гомогенизированную суспензию ностока в количестве 1 мл с титром  $4,8 \cdot 10^8$  клеток/мл и тщательно перемешивали с используемым субстратом. На поверхность песка раскладывали покровные стекла. Опыт продолжался в течение 30 сут при 12-часовом искусственном освещении. При снятии опыта вели микроскопический учёт клеток ЦБ.

Во второй серии опытов культуру ЦБ *N. paludosum* вносили в дерново-подзолистую почву, отобранную с открытого участка на юго-

Таблица 1  
Концентрация автошампуней, внесённых в используемый субстрат (песок)

Вариант	Концентрация внесённого автошампуня, г
Концентрат	0,83
Felix	2,92
Uni	2,5

западе г. Кирова, с одновременным внесением в почву автошампуня Uni в следующих количествах от рекомендуемой дозы (р. д.) 30 г/1 л воды (1 р. д.): 0,25; 0,5; 1; 2 и 4 р. д. Влажность почвы в чашках Петри поддерживали 60% от полной влагоёмкости. Микроскопический учёт ЦБ также проводили на стёклах обрастания через 30 суток после начала опыта, который проводился при 12-часовом искусственном освещении.

В третьей серии опытов определяли влияние автошампуней в таких же дозах, что и в первой серии опытов, на дегидрогеназную активность ЦБ.

Исследования проводили на альгологически чистых культурах двух видов ЦБ: *N. paludosum* Kütz. № 18 и *F. muscicola* (Thur.) Gom. № 300. ЦБ выращивали на питательной среде Громова № 6 без азота в течение 12 недель при температуре 22–24 °С и 12-часовом освещении.

Степень влияния синтетических поверхностно-активных веществ – автошампуней Концентрат, Felix и Uni на дегидрогеназную активность определяли двумя методами: по жизнеспособности клеток ЦБ (микроскопический учёт живых клеток с кристаллами формазана) и по количественному определению формазана спектрофотометрическим методом.

В первом случае жизнеспособность клеток ЦБ выявляли тетразолюно-топографическим способом [11]. Для этого гомогенизированную культуру ЦБ после отмывания водой выдерживали в 0,075% растворе 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида (ТТХ) 12 часов. За этот период бесцветный ТТХ превращается в 2,3,5-трифенилформазан, имеющий красную или малиновую окраску. Для определения соотношения жизнеспособных и нежизнеспособных клеток в культуре готовились мазки на предметных стеклах (по 3 мазка на каждый вариант опыта) и с помощью иммерсионного объектива микроскопа просчитывали не менее 500 клеток в каждой повторности. При количественном учете дифференцировали клетки с ярко-красными кристаллами формазана (жизнеспособные с выраженной дегидрогеназной активностью) и клетки без кристаллов (неактивные и нежизнеспособные).

При втором методе содержание формазана определяли в соответствии с методикой [17], которую модифицировали для ЦБ. К культуре ЦБ, в клетках которых образовались кристаллы формазана, добавляли ледяную уксусную кислоту для разрушения клеточных стенок. Формазан экстрагировали ацетоном. Надосадочную жидкость отделяли от клеток путём центрифугирования. Оптическую плотность надосадочной жидкости, содержащей формазан,

устанавливали на спектрофотометре Specol-1300 при длине волны 490 нм [18].

В качестве тестируемых поллютантов были выбраны автошампуни Концентрат, производства ООО ПК «АБХим», г. Киров, Кировская область; Felix – г. Дзержинск, Нижегородская область и Uni – Германия. Разбавление автошампуней производилось по нормам (1 рекомендуемая доза, или 1 р. д.): Концентрат – 10 г / 1 л, Felix – 35 г / 1 л, Uni – 30 г / 1 л.

### Результаты и обсуждение

Изучение влияния трёх различных автошампуней на развитие *N. paludosum* показало, что все исследуемые СПАВ снижают интенсивность размножения ЦБ (табл. 2). Особенно сильное репрессивное действие оказывает Uni. В этом варианте численность клеток ЦБ составляет всего лишь 4,2% по отношению к контролю. Почти в 10 раз снижается плотность популяции ЦБ в варианте с автошампунем Концентрат. Наименее токсичен в этой серии опытов оказался автошампунь Felix.

В последующих опытах наиболее токсичный для ЦБ автошампунь Uni вносили уже не в песок, а дерново-подзолистую почву в диапазоне возрастающих концентраций одновременно с внесением культуры *N. paludosum*. В опыте использовались концентрации меньше применяемых для мытья автомобилей (0,25 и 0,5 р. д.), применяемые для мытья автомобилей (1 р. д.) и большие, чем используемые на практике (2 и 4 р. д.).

Проведение количественного учёта клеток цианобактериальной популяции показало, что по мере увеличения концентрации автошампуня происходит резкое снижение численности клеток ностока (табл. 3). Установлено, что при увеличении концентрации в 2 раза (0,25–0,5 р. д.) численность клеток снижается в 2 раза. Следующее увеличение концентрации в 2 раза (0,5–1,0 р. д.) угнетает размножение ЦБ в 3 раза. В то же время и при 2 р. д. плотность популяции ностока остаётся на таком же уровне, что и при 1 р. д. Однако увеличение концентрации автошампуня ещё

Таблица 2

Влияние различных автошампуней на развитие *N. paludosum*

Вариант	Численность клеток на 1 см <sup>2</sup>	Процент к контролю
Контроль	41025±600	100,0
Концентрат	4375±750	10,7
Felix	24850±825	60,6
Uni	1725±150	4,2

в 2 раза до 4 р. д. приводит к снижению численности клеток в популяции *N. paludosum* практически в 8 раз по сравнению с дозами 1 и 2 р. д., и в 57 раз, по сравнению с дозой 0, 25 р. д.

Таким образом, изучение влияния автошампуней Концентрат, Felix и Uni на развитие ЦБ *N. paludosum* показало, что данные поллютанты способны подавлять размножение цианобактериальной популяции. При этом уровень угнетающего воздействия зависит от марки применяемого автошампуня. Наивысшей репрессивной активностью обладает автошампунь Uni. Сила его угнетающего воздействия на ЦБ резко возрастает параллельно с возрастанием концентрации.

Длительный опыт использования различных видов ЦБ в качестве тест-организмов показал, что с их помощью можно определять степень токсичности поллютантов различной химической природы [3, 5, 7, 8, 10–12]. В данных опытах впервые была определена токсичность трёх марок автошампуней в концентрациях, рекомендуемых для мытья автомобилей (1 р. д.) при использовании двух видов ЦБ в качестве тест-культур. Жизнеспособность клеток ЦБ определяли по их дегидрогеназной активности. Было установлено, что все три испытуемых автошампуня резко снижают численность живых клеток при тетразолюно-топографическом методе определения (живые – это клетки с кристаллами формазана). При этом репрессивная активность автошампуней Felix и Uni достигает 98,5 и 99,2% соответственно у *F. muscicola* (табл. 4). Устойчивость *N. paludosum* существенно выше, чем у

фишереллы, при действии любого автошампуня. В контроле число нежизнеспособных клеток всего 1,0% для *F. muscicola* и 2,9% для *N. paludosum*.

При количественном определении формазана спектрофотометрическим методом (табл. 5) наблюдается подобная тенденция – резкое снижение количества формазана в клетках исследуемых ЦБ под воздействием автошампуней. Так, в опытах с автошампунями содержание формазана у *F. muscicola* составляло всего лишь 4,52, 5,47 и 6,22% по сравнению с контролем в ряду: Felix – Концентрат – Uni. Содержание формазана в клетках *N. paludosum*, помещённых в автошампуня, составляло от 4,24 до 10,37% по отношению к контролю.

Особенно сильное снижение количества формазана наблюдается при действии Felix и Uni для *N. paludosum* и при действии Концентрат и Felix для *F. muscicola*. Наиболее чувствительным тест-организмом, по результатам данного опыта, оказалась ЦБ *F. muscicola*.

Между двумя методами, используемыми в данной работе при тестировании токсичности автошампуней с помощью ЦБ: количеством жизнеспособных клеток и накоплением формазана, существует весьма сильная положительная корреляция ( $r = 0,88$  для *N. paludosum* и  $r = 0,99$  для *F. muscicola*).

Исходя из результатов опыта, можно предположить, что у различных видов ЦБ имеются различные механизмы адаптации к СПАВам. Сильнейшим ингибирующим эффектом по отношению к ЦБ обладает автошампунь Uni, вызывающий почти полную гибель популяций ЦБ.

Таблица 3

Влияние возрастающих концентраций автошампуня Uni на численность клеток *N. paludosum* в почве

Концентрация Uni, р. д.	Количество внесенного автошампуня Uni, г	Численность клеток на 1 см <sup>2</sup>
0,25	0,05	32825±450
0,5	0,09	15630±315
1	0,18	4950±750
2	0,36	4500±250
4	0,72	575±25

Таблица 4

Количество жизнеспособных и нежизнеспособных клеток в популяциях цианобактерий *N. paludosum* и *F. muscicola*, %

Вариант	Контроль (вода)		Автошампунь					
	1	2	Концентрат		Felix		Uni	
			1	2	1	2	1	2
<i>N. paludosum</i>	97,1	2,9	28,2	71,2	0,6	99,4	0,3	99,7
<i>F. muscicola</i>	99,0	1,0	5,6	94,4	1,5	98,5	0,8	99,2

Примечание: 1 – количество жизнеспособных клеток, 2 – количество нежизнеспособных клеток.

Влияние автошампуней на содержание формазана в клетках цианобактерий

Автошампунь	<i>N. paludosum</i>		<i>F. muscicola</i>	
	Содержание формазана, мкг/мл	Процент к контролю	Содержание формазана, мкг/мл	Процент к контролю
Контроль	140,1	100,0	254	100
Концентрат	14,62	10,37	13,94	5,47
Felix	7,87	5,58	11,54	4,52
Uni	5,98	4,24	15,83	6,22

### Выводы

1. Результаты проведенных исследований с использованием ЦБ показывают, что применение СПАВ в виде автошампуней для мойки автомобилей может представлять весьма существенную опасность для водной и почвенной биоты.

2. Использование ЦБ в качестве тест-организмов показало, что три популярные марки автошампуней (Концентрат, Felix и Uni), применяемые в концентрациях, рекомендуемых для мойки автомобилей, вызывают резкое снижение численности популяции ЦБ *N. paludosum*, при этом максимальной токсичностью обладает автошампунь Uni.

3. Автошампунь Uni оказывает токсическое действие на развитие *N. paludosum* в широком диапазоне концентраций – и меньших, чем дозы, рекомендуемые для мойки автомобилей, и в более высоких. Сила репрессивного воздействия на ЦБ увеличивается пропорционально возрастанию концентрации автошампуня.

4. Использование двух видов ЦБ (*N. paludosum* и *F. muscicola*) для определения степени токсичности исследуемых автошампуней по дегидрогеназной активности ЦБ показало, что оба используемых метода определения жизнеспособности клеток по накоплению формазана (тетразольно-топографический и спектрофотометрический) регистрируют очень сильное угнетение жизнедеятельности ЦБ. Установлена высокая положительная степень коррелятивной зависимости между результатами обоих методов.

5. Наиболее чувствительным тест-организмом по отношению к испытуемым автошампуням оказалась ЦБ *F. muscicola*, которую в дальнейшем можно успешно использовать для определения степени токсичности и других СПАВ.

*Работа выполнена в рамках проекта № 863 «Особенности функционирования живых систем в условиях действия специфических поллютантов на примере фосфорсодержащих соединений»,*

*включённой в государственное задание ВятГУ на 2016 г.*

### Литература

1. Гузев В.С., Левин С.В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной микробиологии. М. 2001. С. 178–219.
2. Мосина Л.В., Давлетьярова Э.А. Тяжёлые металлы в почве как источник опасности микотоксинов // Докл. ТСХА. 2012. № 284. Ч. 1. С. 207–209.
3. Горностаева Е.А., Злобин С.С., Сунцова Е.С., Елькина Т.С., Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я. Микробиологический статус почв в зоне действия Кирово-Чепецкого химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 44–49.
4. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Березин Г.И. Реакция почвенной микробиоты на действие пестицидов // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 4–18.
5. Березин Г.И., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Дабах Е.В. Особенности микробных группировок почв в районе Кильмезского полигона захоронения ядохимикатов (Кировская область) // Принципы экологии. 2016. Т. 5. № 2. С. 4–17.
6. Дорохова М.Ф., Кречетов П.П. Реакция цианопрокариот на загрязнение почв авиационным керосином в полевого эксперименте // Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика, экология, распространение. Международная научная школа-конференция. Апатиты, 5–9 сентября 2016 г. Тезисы докладов. Апатиты, 2016. С. 58–61.
7. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Кудряшов Н.А., Ашихмина Т.Я. Биоиндикационные и биотестовые реакции организмов на действие метилфосфонатов и пирофосфата натрия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 63–69.
8. Горностаева Е.А. Влияние ионов меди и никеля на почвенные цианобактерии и цианобактериальные сообщества: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2015. 26 с.
9. Фокина А.И., Горностаева Е.А., Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Домрачева Л.И., Кондакова Л.В. Адаптационные резервы почвенных природных биоценозов с доминированием цианобактерий р. *Phormidium* // Сибирский экологический журнал. 2015. № 6. С. 842–851.
10. Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. 282 с.
11. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода опреде-

ления дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

12. Огородникова С.Ю., Зыкова Ю.Н., Березин Г.И., Домрачева Л.И., Калинин А.А. Комплексная оценка состояния цианобактерий *Nostoc paludosum* Kütz. при воздействии различных поллютантов // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 47–52.

13. Калениченко К.П. Определение катионных ПАВ в природных водах // Гидробиологический журнал. 1996. Т. 32. № 6. С. 70–76.

14. Остроумов С.А. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на гидробиологические механизмы самоочищения водной среды // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 5. С. 546–555.

15. Колотская Н.Н., Пискунов Н.Ф., Остроумов С.А. Воздействие катионных ПАВ на пресноводные цианобактерии и зеленые водоросли // Совр. пробл. лимнологии, альгологии и фитоценологии. М., 1998. С. 337–338.

16. Паршикова Т.В. Структурно-функциональні маркери адаптації мікрободоростей при дії поверхнево активних речовин: Автореф. дис. ... докт. біол. наук. Киев. 2003. 16 с.

17. Определение дегидрогеназной активности микроорганизмов. Методические указания по санитарно-микробиологическому исследованию почвы. № 2293-81.

18. Симакова В.С., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И. Изучение накопления формазана в клетках цианобактерий *Nostoc paludosum* под влиянием автошампуней // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем: Матер. 12 Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. (г. Киров, 1–2 декабря 2015 г.). Киров: Изд-во ООО «Веси», 2015. С. 278–281.

19. ГОСТ 18309-2014 Вода // Методы определения фосфорсодержащих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 40 с.

## References

1. Guzev V.S., Levin S.V. Man-made changes in soil microbial communities // Perspektivy razvitiya pochvennoy mikrobiologii. M. 2001. P. 178–219 (in Russian).

2. Mosina L.V., Davletyarova E.A. Heavy metals in soil as a source of danger of mycotox-ins // Dokl. TSKhA. 2012. № 284. Ch. 1. P. 207–209 (in Russian).

3. Gornostayeva Ye.A., Zlobin S.S., Suntsova Ye.S., Yelkina T.S., Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya. The microbiological status of soils in the zone of the Kirovo-Chepetsk Chemical Plant // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2012. № 3. P. 44–49 (in Russian).

4. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Berezin G.I. Response of soil microbiota to pesticides // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2012. № 3. P. 4–18 (in Russian).

5. Berezin G.I., Kondakova L.V., Domracheva L.I., Dabakh Ye.V. Features of soil microbial groups in the area of the Kilmezskiy landfill dumping of toxic chemicals (Kirov region) // Printsipy ekologii. 2016. Т. 5. № 2. P. 4–17 (in Russian).

6. Dorokhova M.F., Krechetov P.P. Reaction cyanoprokaryota on soil contamination with aviation kerosene in a field experiment // Tsianoprokarioty (tsianobakterii): sistematika,

ekologiya, rasprostraneniye. Mezhdunarodnaya nauchnaya shkola-konferentsiya. Apatity 5–9 sentyabrya 2016. Tezisy dokladov. Apatity, 2016. P. 58–61 (in Russian).

7. Kondakova L.V., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Kudryashov N.A., Ashikhmina T.Ya. Bioindication and biotesting reactions of organisms to methylphosphonate and sodium pyrophosphate // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2014. № 4. P. 63–69 (in Russian).

8. Gornostayeva Ye.A. Influence of copper and nickel ions on soil cyanobacteria and cyanobacterial communities: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. M., 2015. 26 p. (in Russian).

9. Fokina A.I., Gornostayeva Ye.A., Ogorodnikova S.Yu., Zykova Yu.N., Domracheva L.I., Kondakova L.V. Adaptation reserves of soil natural biofilms when the dominance of cyanobacteria, p. *Phormidium* // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2015. № 6. P. 842–851 (in Russian).

10. Features of urboecosystems of southern taiga in the European Northeast / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. 282 p. (in Russian).

11. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Ashikhmina T.Ya., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Fokina A.I. Application of tetrazole topographic method for determining dehydrogenase activity of cyanobacteria in polluted environments // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2008. № 2. P. 23–28 (in Russian).

12. Ogorodnikova S.Yu., Zykova Yu.N., Berezin G.I., Domracheva L.I., Kalinin A.A. Integrated assessment of cyanobacteria *Nostoc paludosum* Kütz. when exposed to various pollutants // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2010. № 3. P. 47–52 (in Russian).

13. Kalenichenko K.P. Determination of cationic surfactant in natural waters // Gidrobiologicheskiy zhurnal. 1996. Т. 32. № 6. P. 70–76 (in Russian).

14. Ostroumov S.A. Effect of synthetic surfactants on self-purification mechanisms of hydrobiologic aqueous medium // Vodnyye resursy. 2004. Т. 31. № 5. P. 546–555 (in Russian).

15. Kolotskaya N.N., Piskunov N.F., Ostroumov S.A. The impact of cationic surfactants on freshwater cyanobacteria and green algae // Sovr. probl. limnologii, algologii i fitotsenologii. M: 1998. P. 337–338 (in Russian).

16. Parshikova T.V. Структурно-функциональні маркери адаптації мікрободоростей при дії поверхнево активних речовин: Автореф. дис. ... dokt. biol. nauk. Kiyev. 2003. 16 p. (in Russian).

17. Determination of microbial dehydrogenase activity. AUC-Methodological zaniya the sanitary-microbiological study of the soil. № 2293-81 (in Russian).

18. Simakova V.S., Ogorodnikova S.Yu., Domracheva L.I. Research of formazan accumulation in cells of cyanobacteria *Nostoc paludosum* influenced by autoshampoos // Aktualnyye problemy regionalnoy ekologii i biodiagnostika zhivyykh sistem: Mater. 12 Vseross. nauchno-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem. Kniga 1. (g. Kirov, 1–2 dekabrya 2015). Kirov: Izd-vo ООО «Vesi», 2015. P. 278–281 (in Russian).

19. ГОСТ 18309-2014 Water // Methods for determination of phosphorus-containing compounds. M.: Standartinform, 2015. 40 p. (in Russian).