

## Фототрофные микроорганизмы городских парков

© 2017. Л. В. Кондакова<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор,  
Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор, зав. лабораторией,  
зав. кафедрой, О. С. Пирогова<sup>2</sup>, аспирант,  
<sup>1</sup> Институт биологии Коми научного центра УрО РАН,  
167982, Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,  
<sup>2</sup> Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

В работе приведены результаты анализа почвенной альгофлоры парковых территорий г. Кирова. Альгофлора города включает 156 видов и разновидностей фототрофов. Первое место по видовому разнообразию занимают цианобактерии (ЦБ) 37,8%, зелёные водоросли составляют 35,9%. В почвах парков города отмечено 129 видов и разновидностей водорослей и ЦБ, более высокое видовое разнообразие отмечено для зелёных водорослей (37,2%), несколько ниже для ЦБ (34,1%), что ближе к составу альгофлоры почв лесной зоны. Охрофитовые водоросли, чувствительные к техногенной нагрузке, в городских парках составляют 9,9% видового разнообразия альгофлоры, в Заречном парке – 14,6%, в дендропарке – 17,2%, на фоновой территории (ГПЗ «Нургущ») – 23,8%. Коэффициент Сьёренсена-Чекановского альгофлоры городских парков и фоновой территории равен 65,2%. Видовой состав и численность клеток микрофототрофов зависит от сезона года, экотопа. Численность клеток в почвах парковых территорий города составляет сотни тыс. клеток/г почвы. При «цветении» почв численность достигает млн клеток/г почвы.

**Ключевые слова:** водоросли, цианобактерии, фототрофы, альгофлора, видовое разнообразие, экотоп, численность клеток.

## Phototrophic microorganisms of urban parks

L. V. Kondakova<sup>1,2</sup>, T. Ya. Ashikhmina<sup>1,2</sup>, O. S. Pirogova<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,  
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,  
<sup>2</sup>Vyatka State University,  
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

The results of analysis of soil algal flora of the park areas in Kirov are presented. Algotoflora of the city includes 156 species and varieties of phototrophs. Cyanobacteria (CB) lead in the species diversity making up 37.8%, green algae make up 35.9%. In soils of the city's parks 129 species and varieties of algae and CB are found, species diversity is higher for green algae (37.2%) and is lower for CB (34.1%), which is closer to the composition of soil algal flora of the forest zone. Ochrophyta sensitive to anthropogenic load make up 9.9% in city parks algotoflora species diversity, in Zarechnyy Park – 14.6%, in Dendropark – 17.2%, in the background territory (state nature reserve «Nurgush») – 23.8%. Sørensen-Czekanowski factor of algotoflora in the city parks and the background area is 65.2%. During the vegetation period the number of microphototrophs cells depends on humidity, light, ecotope, recreational load.

The maximum number of cells of algae and CB is characteristic for August-September. In soil of the layer biocoenosis of Zarechnyy Park it was 290000–220000 cells/g soil, of the natural reserve «Nurgush» – 174000–197000 cells/g soil, of Alexandrovskiy Park – 658000–844000 cells/g soil. In the sites of micro-«flowering» of microphototrophs the number reached a million cells/g soil.

**Keywords:** algae, cyanobacteria, algotoflora, species diversity, ecotope, the number of cells.

В современном мире город становится главным и наиболее мощным источником антропогенного воздействия на окружающую природную среду. По определению [1], урбоэкосистема – это неустойчивая природно-антропогенная система, состоящая из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем. Рекреационные зоны городов выполняют огромную санитарно-гигиеническую и экологическую роль. Значительную техногенную нагрузку в условиях городской среды испытывают почвы. Фототрофные почвенные микроорганизмы широко используются в оценке экологического состояния урбанизированных территорий [2–12]. Альгофлора почв урбанозёмов характеризуется достаточно высоким видовым разнообразием, при этом в зависимости от антропогенной нагрузки формируются сообщества водорослей и ЦБ, различающиеся по видовому составу, доминантным комплексам, экологической структуре.

Влияние рекреационной нагрузки на почвенные водоросли и ЦБ исследовалось в пригороде г. Гомеля [8]. Авторами выявлено увеличение доли ЦБ, одноклеточных зелёных водорослей и диатомовых на участках, лишённых растительности. Чувствительными к рекреационному воздействию оказались виды: *Stichococcus chlorelloides*, *Ellipsoidion* sp., *Monodus* sp., толерантными к нему являлись ЦБ (*Phormidium boryanum*, *Microcoleus vaginatus*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Phormidium molle*) и диатомеи (*Luticola mutica*, *Navicula pelliculosa*).

Изучение эпифитной флоры на примере городов Уфа, Ишимбай, Октябрьский, Аша, Янаул показало высокую устойчивость водорослей к неблагоприятным условиям [7]. Авторами было выявлено 136 видовых и внутривидовых таксонов, из которых ведущая роль принадлежала зелёным водорослям (45%) и ЦБ (30%). Анализ литературных данных показал, что урбанизация обуславливает увеличение видового разнообразия почвенных водорослей за счёт появления новых экологических ниш для их существования. При урбанизации происходит цианофитизация (увеличение доли цианобактерий) альгогруппировок при одновременном снижении степени развития жёлтозелёных водорослей.

В результате урбанизации происходит в той или иной степени трансформация зональной альгофлоры [2, 3, 6, 9, 13].

Цель данной работы – сравнить альгофлору парковых территорий г. Кирова с альгофлорой

фоновой территории (ГПЗ «Нургуш»), промышленной и транспортной зонами города.

### Объекты и методы

*Александровский сад* – центральный и один из старейших парков г. Кирова, ведёт свою историю с 1825 г. Он был заложен по случаю посещения Вятки императором Александром I.

*Парк им. Ю. А. Гагарина* расположен в центре города. История парка началась в 1896 г., когда был устроен сквер на площади вокруг Александро-Невского собора.

*Заречный парк* расположен в пойме правого берега р. Вятки, напротив исторического центра г. Кирова. Бор существовал в качестве резервного источника древесины для быстрого восстановления в случае пожара сгоревших построек и городских укреплений и был неприкосновенным для повседневной вырубki. Благодаря этому парк сохранил естественный облик до наших дней.

*Парк Победы* был заложен в честь победы в Великой Отечественной войне. Находится в промышленной зоне города.

*Дендропарк лесоводов Кировской области* находится между Казанским трактом и берегом р. Вятки. Парк был заложен в 1962 г. В пределах парка сохранились участки естественной лесной растительности. Искусственные насаждения представляют уникальную для области коллекцию древесных пород более 120 видов.

*Государственный природный заповедник «Нургуш»* располагается на территории Котельничского района Кировской области в излучине правого берега реки Вятки, в её среднем течении.

Почвенные пробы для анализа отбирались в соответствии с требованиями альгологических исследований. Видовой состав выявляли прямым микроскопированием свежезвятой почвы и постановкой чашечных культур [14]. Численность клеток определяли методом прямого микроскопирования [15].

### Результаты и обсуждение

По результатам флористического анализа альгофлора г. Кирова включает 156 видов и разновидностей водорослей и ЦБ, в том числе: Cyanobacteria – 59 (37,8%), Chlorophyta – 56 (35,9%), Ochrophyta – 21 (13,5%), Bacillariophyta – 19 (12,2%), Euglenophyta – 1 (0,6%) [10, 16].

Почвенные водоросли и ЦБ рекреационной зоны города, включая городские парки,

**Таблица 1**

Число видов альгофлоры городских парков

Отделы	Александровский парк		Парк им. Ю. А. Гагарина		Парк Победы		Всего видов	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria	17	36,2	13	28,3	13	31,0	23	32,3
Chlorophyta	20	42,6	26	56,5	15	35,7	30	42,3
Ochrophyta	4	8,4	2	4,3	3	7,1	7	9,9
Bacillariophyta	6	12,8	5	10,9	11	26,2	11	15,5
Всего	47	100	46	100	42	100	71	100

*Примечание: 1 – число видов; 2 – процент.*

**Таблица 2**

Число видов альгофлоры рекреационной зоны г. Кирова

Отделы	Парки города		Дендропарк		Заречный парк		Рекреационная зона	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria	23	32,3	28	32,2	32	31,1	44	34,1
Chlorophyta	30	42,3	32	36,8	38	36,9	48	37,2
Ochrophyta	7	9,9	15	17,2	15	14,6	20	15,5
Bacillariophyta	11	15,5	12	13,8	18	17,5	17	13,2
Всего	71	100	87	100	103	100	129	100

*Примечание: 1 – число видов; 2 – процент.*

**Таблица 3**

Число видов водорослей и ЦБ в почвах рекреационной зоны г. Кирова в сравнении с данными по Кировской области, фоновой, промышленной и транспортной зонами города

Объект	Cyanobacteria		Chlorophyta		Ochrophyta		Bacillariophyta		Всего
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Рекреационная зона г. Кирова	44	34,1	48	37,2	20	15,5	17	13,2	129
Транспортная зона	31	42,5	24	32,9	6	8,2	11	15,1	73
Промышленная зона	44	46,3	30	31,6	8	8,4	13	13,7	95
ГПЗ «Нургуш»	27	26,7	44	43,6	24	23,8	6	5,9	101
Данные по Кировской области (Штина, 1997)	166	27,7	239	39,9	122	20,4	66	11,0	599*

*Примечание: 1 – число видов; 2 – процент; \* – встретились представители других отделов.*

**Таблица 4**

Коэффициенты Съеренсена-Чекановского альгофлоры функциональных зон г. Кирова и ГПЗ «Нургуш»

Зоны	Промышленная	Транспортная	Рекреационная
Промышленная			
Транспортная	71,4		
Рекреационная	66,9	61,4	
Фоновая	58,2	60,9	65,2

дендропарк и Заречный парк, представлены 129 видами и разновидностями, в том числе: Cyanobacteria – 44 (34,1%), Chlorophyta – 48 (37,2%), Ochrophyta – 20 (15,5%), Bacillariophyta – 17 (13,2%).

В парках на территории города по видовому разнообразию преобладают зелёные водоросли и ЦБ, число видов охрофитовых водорослей, по сравнению с дендропарком и Заречным парком, в два раза ниже, что предполагает в них более высокую нагрузку на почву. Из городских парков, согласно видовому составу альгофлоры, наибольшую антропогенную нагрузку испытывает парк им. Ю. А. Гагарина, расположенный в центральной части города (табл. 1). В данном парке по видовому разнообразию преобладают зелёные водоросли, отмечено меньшее число видов охрофитовых и диатомовых водорослей.

Видовое разнообразие альгофлоры увеличивается с увеличением площади парковых территорий, это обусловлено разнообразием экологических ниш, созданных антропогенной средой (табл. 2). В рекреационной зоне города, включая дендропарк и Заречный парк, разнообразие фототрофов включает 129 видов и разновидностей. По количеству видов первое место занимают представители отдела Chlorophyta – 37,2%. ЦБ составляют 31,1–34,1% видового разнообразия альгофлоры рекреационной зоны города. Число видов охрофитовых и диатомовых водорослей в 2 раза ниже числа представителей отделов Chlorophyta и Cyanobacteria.

Сравнительный анализ альгофлоры рекреационной зоны города по отношению к альгофлоре Кировской области [17], территории ГПЗ «Нургуш», промышленной и транспортной зонам города, испытывающими наибольшую техногенную нагрузку, приведён в таблице 3.

В почвах Кировской области [17] представители отдела Chlorophyta составляют 39,9%, Cyanobacteria – 27,7%, Ochrophyta – 20,4%. В альгофлоре заповедника «Нургуш» зелёные водоросли составляют 43,6% видового разнообразия, ЦБ – 26,7%, охрофитовые – 23,8%. Данное соотношение альгофлоры характерно для почв лесной зоны. В промышленной и транспортной зонах города на первое место выходят ЦБ, составляя 46,3% и 42,5% видового разнообразия. Жёлтозелёные и эустигматофитовые водоросли, чувствительные к техногенной нагрузке, составляют 8,4–8,2%, что в 3 раза ниже фоновой территории.

Коэффициенты Сьёренсена-Чекановского показывают высокое сходство альгофлор

промышленной и транспортной зон города (71,4%) и умеренное сходство альгофлор рекреационной и фоновой территорий – 62,5%. Наиболее низкий процент общности альгофлор отмечен для промышленной и фоновой территории (58,2%) (табл. 4).

В состав доминирующего комплекса альгофлоры рекреационной зоны входят: *Nostoc punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *Ph. boryanum*, *Ph. formosum*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Microcoleus vaginatus* (Cyanobacteria), *Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorella vulgaris*, *Bracteacoccus minor*, *Klebsormidium flaccidum* (Chlorophyta), *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pelliculosa*, *Luticola mutica* (Bacillariophyta). Видовой состав микрофототрофов зависит от сезона года, экотопа. В летний период в экотопах с невысокой рекреационной нагрузкой доминируют зелёные водоросли (виды родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*), осенью – ЦБ и диатомовые водоросли. На участках с высокой антропогенной нагрузкой (вытаптывание) ЦБ и диатомовые водоросли являются доминантами и в летний, и в осенний периоды [16].

Численность клеток микрофототрофов в течение вегетационного сезона года зависит от влажности, экотопа, рекреационной нагрузки. Высшие растения также оказывают прямое и косвенное влияние на водоросли и ЦБ через освещённость, температуру и влажность. Максимальное число клеток микрофототрофов в луговых фитоценозах Заречного парка отмечено в августе и составляло 209–220 тыс. кл./г почвы. В аналогичных биоценозах заповедника «Нургуш» численность клеток составляла 174–197 тыс. кл./г почвы [16]. В Александровском парке численность клеток фототрофов на открытых местообитаниях парковой территории составляла  $844,2 \pm 1,4$  тыс. кл./г почвы, на тропинках –  $720 \pm 0,6$  тыс. кл./г, под посадками деревьев –  $215 \pm 20$  тыс. клеток /г [18]. На территории дендропарка в позднеосенний период (ноябрь) численность клеток составляла на открытом от древесных насаждений участке  $336,8 \pm 10,9$  тыс. кл./г почвы, под лиственными породами –  $209,1 \pm 14,1$  тыс. кл./г, под хвойными –  $149,2 \pm 15,3$  тыс. кл./г. По численности клеток доминировали ЦБ и диатомовые водоросли.

### Заключение

Альгофлора парковых территорий г. Кирова сохраняет черты альгофлоры зональных почв. По видовому разнообразию и численнос-

ти клеток доминируют ЦБ и зелёные водоросли. При слабом нарушении растительного покрова видовое разнообразие и численность микрофототрофов увеличивается.

Умеренное сходство альгофлоры парковых территорий города с территорией заповедника «Нургуш» (65,2%) показывает, что антропогенная нагрузка для большинства видов фототрофов не превышает пределов их толерантности. Видовой состав альгофлоры является надёжным индикатором в дальнейшем мониторинге городских почв.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка последствий антропогенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № гос. регистрации 115020310080.*

### Литература

1. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
2. Кабиров Р.Р. Почвенные водоросли техногенных ландшафтов: Дис. ... д-ра биол. наук. Уфа, 1991. 345 с.
3. Суханова Н.В. Цианобактериально-водорослевые ценозы почв урбанизированных территорий Южно-Уральского региона: Дис. ... д-ра биол. наук. Уфа, 2016. 385 с.
4. Артамонова В.С. Влияние урбанизации на микробное население почв // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Э. А. Штиной. Киров, 2010. С. 30–35.
5. Антипина Г.С., Комулайнен С.Ф. Структура и сравнение альгофлористических комплексов урбанизированных экосистем (на примере города Петрозаводска) // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Э. А. Штиной. Киров, 2010. С. 25–30.
6. Аксёнова Н.П. Урбанофлора эдафотрофных водорослей и цианопрокариот г. Ижевска: Дис. ... канд. биол. наук. Ижевск, 2010. 222 с.
7. Дубовик И.В., Климина И.П. Эпифитные водоросли в городских экосистемах Предуралья // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Э. А. Штиной. Киров, 2010. С. 107–110.
8. Бачура Ю.М., Храмченкова О.М. Влияние рекреационной нагрузки на почвенные водоросли и цианобактерии // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящённой 100-летию со дня рождения проф. Э. А. Штиной. Киров, 2010. С. 49–54.

9. Домрачева Л.В., Кондакова Л.В., Зыкова Ю.Н., Ефремова В.А. Альгоциано-микологические комплексы городских почв // Особенности урбозкостистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. С. 120–169.

10. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах подзоны южной тайги Европейской части России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.

11. Зыкова Ю.Н. Комплексы водорослей, цианобактерий и грибов городских почв и их реакция на действие поллютантов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2013. 22 с.

12. Ефремова В.А. Сообщества почвенных водорослей и цианобактерий в экологической оценке городских почв (на примере г. Кирова): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2014. 19 с.

13. Кузяхметов Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа: РИО БашГУ, 2006. 286 с.

14. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

15. Домрачева Л.И. «Цветение» почв и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.

16. Кондакова Л.В., Пирогова О.С., Ашихмина Т.Я. Сравнительный анализ альгофлоры пойменных биогеоценозов р. Вятки на территории ППЗ «Нургуш» и Заречного парка г. Кирова // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 68–75.

17. Штина Э.А. Флора водорослей бассейна реки Вятки. Киров, Кировская областная типография, 1997. 96 с.

18. Коробов А.А., Кондакова Л.В. Почвенные водоросли и цианобактерии рекреационной зоны г. Кирова // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам: Матер. Всерос. науч. конф. Киров, 2015. С. 84–87.

### References

1. Reymers N.F. Nature-management: reference book. M.: Mysl, 1990. 637 p. (in Russian).
2. Kabirov R.R. Soil algae of technogenic landscapes: Dis. ... d-ra biol. nauk. Ufa, 1991. 345 p. (in Russian).
3. Sukhanova N.V. Cyanobacterial-algal coenoces of soils of urban territories of the South-Ural region: Dis. ... d-ra biol. nauk. Ufa, 2016. 385 p. (in Russian).
4. Artamonova V.S. The influence of urbanization on microbe population in soil // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Materialy mezhdunar. nauch.-prak. konf., posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. E. A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2010. P. 30–35 (in Russian).
5. Antipina G.S., Komulaynen S.F. Structure and comparison of algal-floristic complexes of urbanized ecosystems (by the example of Petrozavodsk) // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Ma-

terialy mezhdunar. nauch.-prak. konf., posvyashchenoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. E. A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2010. P. 25–30 (in Russian).

6. Aksenova N.P. Urbanoflora of edaphophyte algae and cyanobacteria of Izhevsk City: Dis. ... kand. biol. nauk. Izhevsk, 2010. 222 p. (in Russian).

7. Dubovik I.V., Klimina I.P. Epiphyte algae in urban ecosystems of the Cis-Ural region // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchenoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. E. A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2010. P. 107–110.

8. Bachura Yu.M., Khrumchenkova O.M. The impact of recreational load on soil algae and cyanobacteria // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Materialy Mezhdunar. nauch.-prak. konf., posvyashchenoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. E. A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2010. P. 49–54 (in Russian).

9. Domracheva L.V., Kondakova L.V., Zykova Yu.N., Efremova V.A. Algo-cyano-micological complexes of urban soils // Peculiar features of urban ecosystems of the sub-zone of European North-West / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: Izd-vo VyatGGU, 2012. P. 120–169 (in Russian).

10. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and peculiar features of its development in anthropogenically loaded soils of the sub-zone of south taiga of the European part of Russia: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).

11. Zykova Yu.N. Algae, cyanobacteria, and fungi complexes in urban soils and their reaction to pollutants: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moskva, 2013. 22 p. (in Russian).

12. Efremova V.A. Soil algae and cyanobacteria communities in ecological assessment of urban soils (by the example of the city of Kirov): Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Syktyvkar, 2014. 19 p. (in Russian).

13. Kuzyakhmetov G.G. Algae of zonal soils of steppe and forest-steppe. Ufa: RIO BashGU, 2006. 286 p. (in Russian).

14. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Soil algae ecology. M.: Nauka, 1976. 143 p. (in Russian).

15. Domracheva L.I. Soil «bloominf» and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).

16. Kondakova L.V., Pirogova O.S., Ashikhmina T.Ya. Comparative analysis of floodplain biogeocoenoses of the Vyatka river on the territory of the state reserve «Nurgush» and Zarechnyy park of the city of Kirov // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2016. № 3. P. 68–75 (in Russian).

17. Shtina E.A. Algoflora of the Vyatka river basin. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 1997. 96 p. (in Russian).

18. Korobov A.A., Kondakova L.V. Soil algae and cyanobacteria of the recreational zone of the city of Kirov // Mechanisms of sustainability and adaptation of biological systems to natural and technogenic factors: Mater. Vserossiyskoy nauch. konf. Kirov, 2015. P. 84–87 (in Russian).