

ГАЛИНА СТАНИСЛАВОВНА АНТИПИНА

доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
antipina@petrsu.ru

УРБАНОФЛОРА ПЕТРОЗАВОДСКА: ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассмотрена антропогенная динамика состава и численности почвенных водорослей в ельнике черничном (город Петрозаводск). Работа проведена в малонарушенном ельнике, на вырубке, на отвалах подстилающей породы на строительной площадке в бывшем ельнике. Видовой состав определялся культуральным методом, численность клеток – при прямом просмотре почвы в слое 0–1 см, биомасса – объемно-расчетным методом. Данные приведены на 1 г абсолютно сухой почвы. Подзолистая почва ельника характеризуется стабильной альгофлорой (46 видов, из них 37 – зеленые водоросли). Выражена дифференциация состава водорослей подстилки и подзолистого горизонта, более интенсивное развитие водорослей в подстилке, чем в подзолистом горизонте (средняя численность соответственно 70,2 и 15,4 тыс. клеток, биомасса 0,02 и 0,006 мг). Динамика водорослевых сообществ определяется характером трансформации почвы ельника. На вырубке наблюдается расширение видового состава почвенных водорослей (68 видов, из них 43 – зеленые водоросли). В нарушенной почве сохраняются типичные для леса зеленые водоросли и распространяются нитчатые зеленые и синезеленые водоросли, приуроченные к обнаженным песчаным субстратам. В почве вырубки наблюдается возрастание численности водорослей в среднем до 324 тыс. клеток, биомассы – до 0,122 мг. На отвалах происходит обеднение альгофлоры (32 вида, из них 15 – зеленые водоросли). Численность водорослей на отвалах минимальная (в среднем 2,7 тыс. клеток, биомасса 0,001 мг). Всего в исследованных почвах выявлено 98 видов водорослей (*Cyanophyta* (*Cyanobacteria*) – 16, *Bacillariophyta* – 12, *Euglenophyta* – 1, *Xanthophyta* – 14, *Chlorophyta* – 55). Несмотря на наличие ряда общих видов, различие исследованных альгофлор выражено сильнее, чем их сходство. При гетерогенности и мозаичности условий, характерных для естественных и трансформированных лесных фитоценозов, в них выражен континуум почвенной альгофлоры. Он поддерживается разнообразием систематического состава, экологических групп и жизненных форм почвенных водорослей.

Ключевые слова: урбанофлора, урбаноальгофлора, почвенные водоросли, альгофлора лесных почв, антропогенная динамика альгофлоры

ВВЕДЕНИЕ

Флористические комплексы гидрофильных и эдафотрофных водорослей территории города формируют альгофлору городской экосистемы. Почвенная альгофлора города, в свою очередь, складывается из альгоценофлор лесных, луговых, болотных, антропогенных и других участков. Обитающие в почве водоросли принадлежат к автотрофной части почвенной биоты и занимают двойственное положение в биоценозе, входя в состав как фитоценоза, так и микробиоценоза [6], [29]. Включение альгологических исследований в общий контекст изучения урбанофлоры дополняет сведения о биоразнообразии растений и микроорганизмов в условиях урбаноэкосистем и расширяет наши представления об их автотрофном компоненте.

Почвы в городе развиваются под воздействием естественных факторов почвообразования, но большое влияние на их свойства оказывают антропогенные факторы [19], [32], [34]. Сегодня специалисты-альгологи вслед за флористами

высших растений и микробиологами обращают внимание на такие интересные и разнообразные в экологическом плане объекты, как городские территории. Город представляет почвенным альгологам широкие возможности для развития различных аспектов почвенно-альгологических исследований в связи с большой гетерогенностью почв и антропогенных субстратов и наличием широкого диапазона местообитаний, в которых обитают водоросли, – от естественных зональных почв до полностью трансформированных субстратов – урбаноземов.

Сведения о почвенной альгофлоре городов в целом или отдельных альгоценофлор известны сегодня для ряда городов России. Это, в первую очередь, города, в которых существуют крупные почвенно-альгологические школы, – Киров и другие города Кировской области [7], [11], [12], Уфа и другие города Башкортостана [8], [10], [13], [22], [23], [26]. Опубликованы данные о почвенной альгофлоре Москвы [30], Ижевска [1], Красноярска [25], Новосибирска [20], Магнитогорска

[24] и др. Вместе с тем надо отметить, что для большинства городов России данные о почвенной альгофлоре отсутствуют, даже если флора высших растений их изучена подробно.

Город Петрозаводск характеризуется высокой изученностью флоры высших растений, водорослей и лишайников [21]. В последние годы исследована антропогенная динамика физических, химических, микробиологических свойств почв города [15]. Опубликованы и общие данные о почвенной альгофлоре Петрозаводска, включающей 172 вида водорослей [10], [21].

В данной работе рассмотрена антропогенная динамика видового состава и количественные характеристики альгоценозов в почвах лесных участков на территории города Петрозаводска при антропогенном воздействии (строительстве).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почвенно-альгологические исследования выполнены в мае – сентябре 2013–2015 годов в городе Петрозаводске (южная Карелия, средне-таежная подзона). Объектами изучения видового состава и численности почвенных водорослей были участки ельников зеленомошных (черничных) на территории города (район Куковка и его окраины), где в последние годы идет строительство жилых комплексов. Работа проведена на трех группах участков.

1) Первая – малонарушенные лесные участки, которые характеризуются сохранением древостоя, напочвенного растительного покрова и почвы. Древостой образован *Picea abies* (L.) Karst. s. l., в подлеске представлены *Sorbus aucuparia* L. и *Salix caprea* L., напочвенный покров образован зелеными мхами (*Pleurocium schreberi* (Brid.) Mitt, *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G.). Почва ельников – подзол иллювиально-гумусово-железистый пылевато-песчаный на морене; лесная подстилка 2–5 см, pH сол. 3,5; подзолистый горизонт 3–7 см, pH сол. 3,8–4,0; почвообразующая порода – морена. Влажность почвы 50–60 %. Такие участки дают представление о флористическом составе и интенсивности развития почвенных водорослей в естественных лесных биотопах.

2) Вторая группа – участки ельников черничных после вырубки древостоя перед началом строительства. Для вырубки характерно нарушение напочвенного растительного покрова и почвы, перемешивание лесной подстилки и подзолистого горизонта. Влажность почвы 60–70 %.

3) Третья группа – участки строительной площадки в бывшем ельнике черничном после вырубки древостоя на стадии подготовки котлованов под фундамент. Для них характерно уничтожение напочвенного растительного покрова, переворачивание почвы, погребение верхних слоев почвы и перемещение на поверхность подстиляющей породы. Исследован грунт отвалов,

которые образованы оказавшейся на поверхности подстиляющей породой. Для отвалов характерна сильная инсоляция и неустойчивый водный режим – от избыточного увлажнения после дождей до минимальной влажности в засушливый период. Влажность грунта 40–50 %.

Изучение видового состава выполнено при прямом просмотре свежезятой почвы, в водных (на средах Кнопа и Громова № 6) и почвенных культурах [6]. Определение видов проводилось по выпускам серии «Определитель пресноводных водорослей СССР» [18].

Дискуссионным остается вопрос об использовании в работе той или иной системы водорослей из многих существующих в настоящее время. Отсутствие единой системы высших таксонов водорослей ставит в трудное положение автора любой альгологической работы, в которой требуется анализ флористического состава водорослей. Выбор системы – важный методический момент, так как при анализе флоры по разным системам изменяется, например, количество отделов, классов и других таксонов водорослей. Не вдаваясь в дискуссию о современных взглядах на систематику водорослей, автор придерживается системы, принятой в классических альгологических работах [18].

При рассмотрении почвенной альгофлоры был выполнен анализ апофитности, который традиционно используется во флористике высших растений. Апофитность рассматривается как способность аборигенных видов высших растений распространяться и осваивать вторичные преобразованные, в том числе антропогенные, экотопы. Высшие растения-апофиты вместе с адвентивными видами формируют синантропный компонент флоры. Оценка апофитности для водорослей приведена по наблюдениям за их развитием в субстратах с разной степенью антропогенных нарушений.

При сравнении видового состава водорослей разных почв и субстратов использован коэффициент Жаккара [27].

Жизненные формы (биоморфы) почвенных водорослей приведены по системе Э. А. Штиной и М. М. Голлербаха [29].

Количественный учет водорослей проводился по стандартной методике [16], [28]. Численность клеток определялась в поверхностном слое почвы 0–1 см в смешанных образцах с использованием метода световой (для фиксированных проб) и люминесцентной (для свежих проб) микроскопии. Определение биомассы проводилось объемно-расчетным методом. Полученные данные численности клеток и биомассы водорослей пересчитывались на 1 г абс. сухой почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенная альгофлора зональной подзолистой почвы ельника черничного характеризуется

преобладанием зеленых водорослей (табл. 1). В подстилке и подзолистом горизонте почвы ельника доминируют монадные, коккоидные и нитчатые зеленые водоросли. Особенностью альгофлоры леса является видовое разнообразие зеленых одноклеточных монадных водорослей рода *Chlamydomonas* Ehr., (см. список видов), которые составляют до половины флористического списка. Подобный характер альгофлоры вообще свойственен кислым почвам лесов [2], [6], [17], [29], в том числе и почвам лесов Карелии [4], [28].

Таблица 1
Видовой состав почвенных водорослей

Почва и нарушенные грунты	<i>Cyanophyta</i>	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Euglenophyta</i>	<i>Xanthophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	Всего видов
Лес: всего видов	5	2		2	37	46
Лес: подстилка	4	1		1	27	33
Лес: подзолистый горизонт	1	1		1	33	36
Вырубка	9	4	1	11	43	68
Отвалы	5	7		6	15	33
Всего видов	17	12	1	14	55	99

Особым субстратом для водорослей в лесных фитоценозах является напочвенный моховой покров. Дернинки зеленых мхов заселены микроскопическими одноклеточными зелеными водорослями-эпифитами, распространенными в почве, но способными существовать в аэрофильных условиях.

Специфичными для малонарушенных лесных участков являются 18 видов (см. список видов), которые выявлены только в почве леса. Индекс специфичности (доля специфических видов в составе флоры) для почвы леса составляет 0,39 (рис. 1).

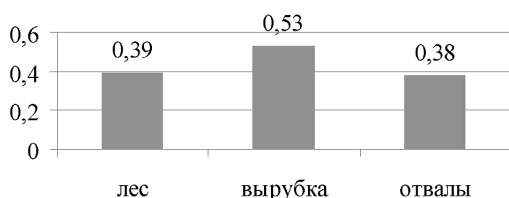


Рис. 1. Индекс специфичности почвенной альгофлоры

Для комплекса видов лесной подстилки характерно присутствие безгетероцистных нитчатых синезеленых родов *Phormidium*, *Plectonema*, которые не распространяются в подзолистый горизонт почвы. Несколько видов (6 в подстилке, 5 в подзоле) выявлены только в подстилке или только в подзолистом горизонте и не отмечены в других исследованных субстратах. Индекс специфичности для альгофлоры подстилки составляет 0,18, подзола – 0,14. В то же время из всех выявленных в лесной почве 46 видов водорослей половина – 23 вида – встречаются и в подстилке, и в подзоле (коэффициент флористического сходства Жаккара 0,5). Таким образом, в верхних слоях лесной почвы 0–10 см существует единая альгофлора, но проявляется дифференциация видового состава по почвенным горизонтам, связанная, прежде всего, с их разным световым режимом. Так на уровне микромира проявляется континуум, непрерывность и дискретность флоры, характерные и для флоры высших растений.

Около 40 % видов альгофлоры лесной почвы можно определить как виды-апофиты (рис. 2). К ним можно отнести, например, выявленные в почве леса обычные для Карелии нитчатые синезеленые (*Phormidium boryanum*), монадные (*Chlamydomonas atactogama*, *Ch. elliptica* и другие виды этого рода), коккоидные (*Bracteacoccus minor*, *Dictyococcus irregularis*) и нитчатые (*Chlorhormidium flaccidum*, *Gloeotila protogenita*) зеленые водоросли. Такие виды представляют антропофильный, антропоотолерантный компонент почвенной микрофлоры. Следовательно, в составе почвы малонарушенных лесных участков уже присутствуют и те виды, для которых нарушение почвы будет выступать как благоприятный фактор, обеспечивая интенсивное развитие водорослей после вырубки древостоя и повреждения поверхности почвы.

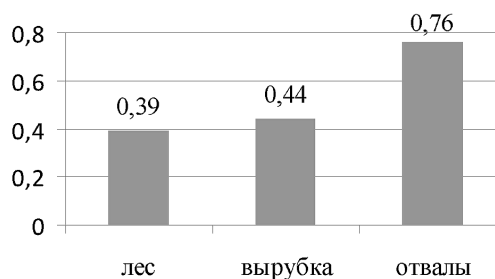


Рис. 2. Доля видов водорослей-апофитов в составе альгофлоры

Определение количественных показателей альгогруппировок показало, что водоросли более интенсивно развиваются в лесной подстилке, чем в подзолистом горизонте почвы (табл. 2), что можно объяснить лучшими условиями освещенности верхнего слоя почвы. Биомасса водорослей в лесных почвах низкая, что обусловлено преобладанием микроскопических одноклеточных водорослей; в подстилке показатели биомассы выше, чем в подзоле (в среднем соответственно 0,02 и 0,006 мг/г). Такие количественные признаки соответствуют показателям хвойных лесов северных регионов [2] и лесных почв северной Карелии [4].

Таблица 2
Численность и биомасса почвенных
водорослей (в 1 г абс. сух. почвы)

Почва и нарушенные грунты	Численность, тыс. клеток	Биомасса, мг
Лес: подстилка	70,2 ± 11,3	0,021
Лес: подзолистый горизонт	15,4 ± 3,1	0,006
Вырубка	323,8 ± 28,9	0,122
Отвалы	2,7 ± 0,3	0,001

Таким образом, малонарушенные лесные участки ельников черничных отличаются преобладанием одноклеточных монадных и коккоидных зеленых водорослей, невысокой численностью и низкой биомассой водорослей, дифференциацией альгофлоры подстилки и подзола.

Вырубка древостоя приводит к нарушению лесной экосистемы. В новых условиях происходит и перестройка эдафона зональных подзолистых лесных почв, в том числе почвенной альгофлоры. Факторами, определяющими развитие водорослей в нарушенной почве вырубки, являются увеличение освещенности, снятие конкуренции со стороны мхов после уничтожения напочвенного мохового покрова, перемешивание подстилки и минеральных горизонтов почвы, формирование открытых участков почвы без высших растений.

Главной особенностью альгофлоры таких участков является расширение видового состава почвенных водорослей (см. табл. 1). Здесь происходит качественное преобразование почвенной альгофлоры за счет не только появления новых видов в составе уже существующих родов, но и представителей новых родов водорослей.

В перемешанном субстрате продолжают сохраняться, прежде всего, типичные почвенные зеленые одноклеточные коккоидные и монадные водоросли, свойственные почве ненарушенного ельника, многие из которых являются убиквидами карельских почв. Преобладание в альгофлоре вырубки зеленых водорослей объясняется их высокой устойчивостью к воздействию измененных факторов среды в новых условиях существования почвенной биоты.

Специфической особенностью нарушенных почв вырубки является развитие водорослей трех новых групп: 1. Нитчатых зеленых водорослей, приуроченных к обнаженному песчаным субстратам; 2. Нитчатых синезеленых водорослей с ослизненными талломами, в том числе азотфиксирующих гетероцистных видов; 3. Коккоидных и нитчатых желтозеленых водорослей.

Специфическими зелеными нитчатыми водорослями-эрозиофилами являются *Koliella sempervirens*, *Uronema confervicolum*, *Pleurastrum terrestre*. Эти интересные виды водорослей были отмечены и в нарушенных почвах на вырубках сосняков в северной Карелии [4]. Такие виды для севера можно рассматривать как организ-

мы-индикаторы открытых поврежденных почв. Синезеленые азотфиксирующие представлены *Tolypothrix tenuis*, *Anabaena hallensis*, *A. variabilis*, *Calothrix clavata*, *C. elenkinii*, безгетероцистные формы – видами *Oscillatoria* и *Phormidium*. Комплекс желтозеленых составляют коккоидные формы родов *Botridiopsis*, *Chloridella*, *Pleurochloris* и нитчатые *Heterothrix exilis*, *H. stichococcoides*, *Tribonema vulgare*.

Расширение состава водорослей и появление новых видов отражаются в том, что именно альгофлора почвы вырубки отличается высоким индексом специфичности (0,53), то есть более половины видов (36 из 68) отмечены только на вырубке и не выявлены в лесу и на отвалах (см. рис. 1).

Общими для почвы вырубки и ненарушенного леса (всего в двух этих участках выявлено 86 видов водорослей) являются 28 видов (коэффициент флористической общности 0,33).

Изменение условий существования почвенных водорослей на вырубке по сравнению с ельником обеспечивает и расширение альгофлоры за счет новых видов водорослей, осваивающих возникшие экологические ниши. Здесь возникают благоприятные условия для развития водорослей-апофитов: к этой группе относятся 30 из 68 видов (доля видов водорослей-апофитов в составе флоры 0,44) (см. рис. 2). Такие виды характеризуются устойчивостью к колебаниям влажности и освещенности субстрата. Потенциал почвенной альгофлоры, существующий в ненарушенной почве леса, и поступление диаспор водорослей со смежных нарушенных участков дает возможность успешного существования альгофлоры и усиления развития водорослей в новых условиях.

Одновременно с расширением видового состава в почве вырубки наблюдается и возрастание количественных показателей почвенных альгогруппировок (см. табл. 2) – численность клеток возрастает до 200–500 тыс., биомасса – до 0,122 мг в 1 г абс. сухой почвы (до 1,2 г на 1 кв. метр субстрата).

Известно, что вырубка древостоя сопровождается выпадением из состава флоры высших растений лесных видов, внедрением и распространением на освободившихся участках луговых и рудеральных видов, несвойственных ненарушенному лесному массиву. Результаты почвенно-альгологических исследований показывают, что подобное явление свойственно и флористическим комплексам низших растений. Стабильная альгофлора, характерная для почв лесных участков на городской территории и существующая здесь неопределенно долго, при вырубке древостоя и нарушении почвы преобразуется. На вырубке создаются условия для расширения видового состава водорослей, появления новых видов и увеличения количественных показателей альгогруппировок.

Таким образом, на вырубке в ельнике черничном наблюдается расширение видового состава и численности почвенных водорослей.

Дальнейшее преобразование почвенной микрофлоры происходит на отвалах почвообразующей породы (морены), которые формируются на строительных площадках. Альгофлора зональной подзолистой почвы леса и вырубки на отвалах оказывается уничтоженной, погребенной под почвообразующей породой, и формирование альгофлористических комплексов в качественно новых условиях сильной инсоляции и неустойчивого водного режима субстрата начинается заново.

Пионерная флора микроскопических водорослей на свежесыпанных отвалах морены развита слабо, она соответствует аэрофитону, представлена единичными клетками зеленых коккоидных водорослей-убиквистов (*Chlorella vulgaris*, *Coccomyxa solorinae*). В течение 1–2 месяцев происходит постепенное расширение состава альгофлоры отвального грунта (см. табл. 1). При сохранении преобладания зеленых водорослей в отвальном грунте распространяются отдельные виды диатомовых, желтозеленых и неазотфиксирующих нитчатых синезеленых водорослей (см. список видов). Специфическими для отвального грунта являются 12 видов водорослей – они отмечены только в этом субстрате. Это, например, синезеленые нитчатые *Phormidium ambiguum*, *Ph. autumnale* и *Ph. tenue*, коккоидные желтозеленые *Chloridella neglecta* и *Ellipsoidion anulatum*. После дождей на отвалах выявляются диатомовые водоросли, приуроченные к поверхностному слою грунта, – *Caloneis silicula*, *Cymbella turgida*, *Pinnularia subcapitata* и даже такой гидрофильный вид, как *Tabellaria fenestrata*. Индекс специфичности альгофлоры отвалов равен 0,38 (см. рис. 1).

Ряд видов связывают альгофлору отвалов с альгофлорой, ранее существовавшей в лесной почве и нарушенной почве вырубок. Общими для отвального грунта и лесных участков (всего в этих двух участках выявлено 62 вида водорослей) являются 16 видов (коэффициент флористической общности 0,26), для отвального грунта и нарушенной почвы вырубки (в этих двух субстратах выявлен 81 вид) – 18 видов (коэффициент флористической общности 0,22).

Возникновение открытых нарушенных почв создает условия для появления синантропных видов высших растений-апофитов. Аналогичный процесс происходит и в эдафоне: на открытых участках нарушенного грунта постепенно распространяются устойчивые в новых условиях микроскопические водоросли-апофиты – преимущественно одноклеточные зеленые и желтозеленые, нитчатые зеленые и синезеленые водоросли (см. список видов). Участие таких видов в альгофлоре отвалов моренного грунта самое

высокое из исследованных участков – до 75 % (см. рис. 2). Надо отметить, что это связано не только с увеличением числа видов-апофитов, но и с общей бедностью альгофлоры и выпадением из альгофлоры отвалов неустойчивых видов-неапофитов. Можно сказать, что альгофлора отвалов – это именно альгофлора апофитов. В возникшем новом субстрате при выпадении антропофобных видов водорослей продолжают существовать апофиты ненарушенной почвы и появляются новые устойчивые виды. Даже в экстремальных для растений условиях обнаженного низкоплодородного грунта, инсоляции и колебаний влажности субстрата успешно существуют устойчивые в новых условиях виды одноклеточных и многоклеточных водорослей.

Интенсивность роста водорослей в грунте отвалов минимальная (см. табл. 2), что связано с условиями существования водорослей – неустойчивым режимом увлажнения, периодическим высыханием поверхностного слоя отвального грунта. Конкурентные возможности почвенных водорослей, бесспорно, ничтожно малы по сравнению с высшими растениями, но на обнаженных техногенных субстратах проявляется их способность заселять свободные субстраты и выступать таким образом в качестве растений-эксплерентов.

Исследование почвенной альгофлоры отвалов различного происхождения в других регионах показывает большую пестроту результатов в связи с разным качеством отвальных грунтов [11], [20], [24]. Одноклеточные и нитчатые водоросли формируют своеобразный микроскопический пионерный растительный покров и начинают сукцессии растительности на техногенных грунтах, способствуя повышению биологической активности субстрата и формированию эдафона. Следовательно, на отвалах подстилающей породы наблюдается формирование пионерных альгосообществ, которые отличаются ограниченностью видового состава и низкой численностью водорослей.

Таким образом, исследованной лесной подзолистой почве и почвам трансформированных лесных участков присуща разнообразная почвенная альгофлора – всего в них выявлено около 100 видов водорослей (см. табл. 1). Основная часть видов альгофлоры принадлежит к зеленым водорослям, преимущественно монадным и коккоидным формам. Эта группа сохраняет высокое разнообразие и после антропогенного нарушения подзолистой почвы. Синезеленые представлены нитчатыми, в том числе азотфиксирующими, видами, желтозеленые – в основном коккоидными формами. Надо отметить, что основную часть почвенной альгофлоры формируют обычные, широко распространенные виды водорослей, выявление которых в изученных почвах является вполне предсказуемым. Из более редких видов

надо назвать *Calothrix clavata*, *Calothrix elenkinii*, *Uronema confervicolum*, *Pleurastrum terrestre*, отмеченные в нарушенной почве вырубки.

В ельниках черничных до начала строительных работ существует стабильная почвенная альгофлора. В ней преобладают синезеленые и зеленые водоросли с ослизненными талломами, теневыносливые, неустойчивые к высыханию (С-жизненная форма), и одноклеточные коккоидные зеленые водоросли, отличающиеся устойчивостью к экстремальным условиям (СН-жизненная форма). Почвенная альгофлора ельника резко изменяется после начала строительных работ. Динамика видового состава определяется степенью нарушения/разрушения почвы.

Для вырубки с перемешанными подстилкой и подзолистым горизонтом почвы характерно повышение видового разнообразия. При участии зеленых и синезеленых водорослей в измененном грунте вырубки появляются одноклеточные желтозеленые водоросли (Х-жизненная форма) и нитчатые азотфиксирующие синезеленые водоросли (CF-форма).

На отвалах глубокие слои подстилающей породы оказываются на поверхности, в них начинает формироваться комплекс эдафотрофных организмов, включающий и почвенные водоросли. Видовое разнообразие водорослей в грунте отвалов низкое, здесь развиваются только виды, способные существовать в условиях малоплодородного грунта и колебаний влажности.

Закономерно встает вопрос: откуда берутся новые виды водорослей в почвах нарушенных участков на вырубках и отвалах, если их не было в ненарушенной лесной почве? Можно говорить о двух причинах: 1) такие виды присутствуют и в ненарушенной почве, но количество их диаспор (своеобразный «банк семян») меньше уровня выявления использованными методами; изменение условий лесной почвы при вырубке стимулирует развитие таких диаспор в почве; 2) диаспоры водорослей заносятся с частицами почвы или грунта из окружающих нарушенных почв или внепочвенных субстратов; такой перенос не только зачатков, но и вегетативных особей для микроскопических водорослей известен [3], [9], [14], [32], [33]. Соответственно, участки ельников после вырубки древостоя, которые отличаются разнообразной альгофлорой, и сами являются источником для подобного переноса диаспор.

В почвах исследованных участков выявлены около 100 видов водорослей, из которых 10 видов являются общими для почвенного покрова трех участков – они встречаются в лесу, на вырубке и на отвалах. Это зеленые водоросли: монадные (*Chlamydomonas globosa*, *Chlamydomonas media*), коккоидные (*Actinochloris sphaerica*, *Bracteacoccus minor*, *Chlorococcum humicola*, *Dictyococcus irregularis*, *Kentrosphaera bristoliana*, *Chlorella vulgaris*, *Coccomyxa solorinae*), – и

единственный представитель желтозеленых – *Pleurochloris anomala*. Эти виды представляют собой группу типичных для кислых северных почв представителей эдафона, эвритопных и повсеместно распространенных почвенных водорослей.

Кроме 10 видов, общих для всех исследованных субстратов, ряд видов являются общими для двух участков. Подобные виды обеспечивают континуум флоры на уровне микромира. В то же время пестрота видового состава обеспечивает низкое флористическое сходство – коэффициенты Жаккара составляют от 0,22 (вырубка и отвалы, 18 общих видов) до 0,26 (лес и отвалы, 16 общих видов) и 0,33 (лес и вырубка, 28 общих видов). Следовательно, различие исследованных альгофлор выражено сильнее, чем их сходство.

Доля специфичных видов составляет не менее трети альгофлоры каждого субстрата (см. рис. 1). На вырубке индекс специфичности возрастает до половины – именно здесь выявлены виды, не встреченные в других субстратах.

Водоросли-апофиты представляют синантропный компонент альгофлоры. Это виды, увеличивающие свое присутствие при повреждении почвы. Аналогичные субстраты существуют и в природе, например на вывалах деревьев, пожарищах, отмелях. Нарушение почв в лесных участках создает условия для развития таких видов.

Апофиты представлены и в почве ненарушенных лесов, где их доля составляет до трети видов. Участие этих видов увеличивается на вырубках и значительно – до двух третей состава – возрастает в грунте отвалов. На отвалах это явление связано не только с увеличением числа видов-апофитов, но и с уменьшением числа видов-неапофитов. В таком субстрате при выпадении антропофобных видов водорослей продолжают существовать апофиты ненарушенной почвы и появляются новые устойчивые виды. Главная систематическая группа апофитов – зеленые водоросли (рис. 3), многие из которых являются убиквистами, типичными для почв вообще. Это монадные (виды *Chlamydomonas*), хлорококковые (*Bracteacoccus minor*, *Dictyococcus irregularis*, *Chlorella vulgaris*, *Coccomyxa solorinae*), нитчатые (*Uronema confervicolum*, *Chlorhormidium flaccidum*, виды рода *Stichococcus*, *Koliella sempervirens*, *Pleurastrum*

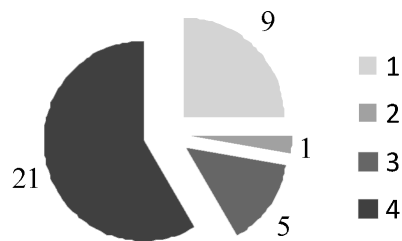


Рис. 3. Соотношение систематических групп в составе почвенных водорослей-апофитов, число видов: 1 – Cyanophyta, 2 – Bacillariophyta, 3 – Xanthophyta, 4 – Chlorophyta

terrestre). Синезеленые представлены нитчатыми формами, такими как *Tolypothrix tenuis*, *Pseudoanabaena catenata*, *Phormidium ambiguum*, *Ph. autumnale*, диатомовые – распространенным в почвах видом *Frustulia rhomboids*, желтозеленые – коккоидными, например *Botridiopsis arhiza*, видами *Pleurochloris*, и нитчатыми (*Heterothrix exilis*) формами.

Какие виды могут быть отнесены к группе апофитов? Как и в макром мире, это устойчивые к экстремальным условиям виды с широкой экологической амплитудой. Для некоторых из них характерны слизистые чехлы (виды *Calothrix*), способность переходить в пальмеллевидное состояние при высыхании субстрата (виды *Chlamydomonas*). Потенциал альгофлоры ненарушенных почв уже включает виды водорослей, которые при возникновении новых условий нарушенных почв начинают занимать ведущие позиции в почвенной альгофлоре. Именно такие виды-апофиты во многом обеспечивают существующий в почвенном покрове континуум альгофлоры.

Численность почвенных водорослей в ненарушенных лесных почвах дифференцирована: выше в подстилке и ниже в подзолистом горизонте. В каждом грамме лесной подзолистой почвы обитают несколько десятков тысяч клеток водорослей. Низкие показатели биомассы (доли миллиграмма в грамме почвы) определяются микроскопическими размерами преимущественно одноклеточных водорослей, представленных в почве.

При перемешивании подстилki и подзола меняются условия развития водорослей, что обеспечивает не только появление новых видов, но и рост численности почвенных водорослей. Она возрастает до сотен тысяч клеток в грамме субстрата, что приводит и к увеличению биомассы. Именно здесь отмечена максимальная биомасса эдафотрофных водорослей – в пересчете на 1 кв. метр почвы в верхнем слое почвы 0–1 см она достигает 1200 мг.

Условия отвалов, особенно неустойчивая влажность грунта, неблагоприятны для роста водорослей. В связи с этим для отвалов моренного грунта характерны минимальные численность клеток и биомасса водорослей.

ВЫВОДЫ

Подзолистая почва ельника черничного на окраине города Петрозаводска характеризуется стабильной альгофлорой, в которой преобладают зеленые водоросли. Выявлена дифференциация состава водорослей в подстилке и подзолистом горизонте. Трансформация водорослевых ценозов почвы леса определяется характером трансформации почвы при антропогенном воздействии.

В нарушенной почве вырубки происходит расширение видового состава и увеличение количественных характеристик альгоценозов.

Отвалы подстилающей породы характеризуются формированием и развитием пионерных ценозов водорослей и минимальной численностью клеток.

Несмотря на наличие ряда общих видов, различие исследованных альгофлор выражено сильнее, чем их сходство.

При гетерогенности и мозаичности условий, характерных для естественных и трансформированных лесных фитоценозов, в них выражен континуум почвенной альгофлоры. Он поддерживается разнообразием систематического состава, экологических групп и жизненных форм почвенных водорослей.

Систематический список водорослей

В списке видов отмечены следующие экотопы: 1 – ельник черничный, подстилка; 2 – ельник черничный, подзолистый горизонт; 3 – вырубка в ельнике черничном, перемешанные горизонты почвы; 4 – отвалы на строительной площадке на месте ельника черничного, морена.

Cyanophyta (Cyanobacteria): *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb. – 3, *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot – 2, *Anabaena hallensis* (Janez.) Born. et Flah. – 3, *A. variabilis* Kütz. – 3, *Tolypothrix tenuis* Kütz. – 3, *Calothrix clavata* G. S. West – 3, *C. elenkinii* Kossinsk. – 3, *Pseudoanabaena catenata* Lauterb. – 4, *Oscillatoria tenuis* Ag. – 3, *Phormidium ambiguum* Gom. – 4, *Ph. autumnale* (Ag.) Gom. – 4, *Ph. boryanum* Kütz. – 1, 4, *Ph. corium* (Ag.) Gom. – 3, *Ph. tenue* (Memegh.) Gom. – 4, *Plectonema boryanum* Gom. – 1, 3, *P. edaphica* (Elenk.) Vaul. – 1, *P. notatum* Schmidle – 1,

Bacillariophyta: *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. – 4, *Eunotia exigua* (Bréb.) Rabenh. – 1, *Caloneis silicula* (Ehr.) Cl. – 4, *Cymbella helvetica* Kütz. – 4, *C. turgida* (Greg.) Cl. – 4, *Frustulia rhomboides* (Ehr.) de Toni – 3, 4, *Navicula atomus* (Näg.) Grun. – 2, *N. minima* Grun. – 3, *N. mutica* Kütz. – 4, *Pinularia intermedia* Lagerst. – 3, *P. interrupta* W. Sm. – 3, *P. subcapitata* Greg. – 4,

Xanthophyta: *Botridiopsis arhiza* Borzi. 3, 4, *Chloridella neglecta* Pasch. – 4, *Ch. simplex* Pasch. – 3, *Ellipsoidion anulatum* Pasch. – 4, *Monodus acuminata* (Gern.) Chodat. – 3, *M. cocomyxa* Pasch. – 2, *Pleurochloris anomala* James – 1, 2, 3, 4, *P. lobata* Pasch. – 3, *P. magna* Boye-Pet. – 3, 4, *Polyedriella irregularis* Pasch. – 3, *Characiopsis acuta* Borzi – 3, *Heterothrix exilis* Pasch. – 3, 4, *H. stichococcoides* Pasch. – 3, *Tribonema vulgare* Pasch. – 3,

Euglenophyta: *Euglena mutabilis* Schmitz. – 3,

Chlorophyta: *Chlamydomonas acuta* Korsch. – 1, 2, *Ch. asymmetrica* Korsch. – 1, 2, *Ch. atactogama* Korsch. – 2, 3, 4, *Ch. conferta* Korsch. – 1, 2, 3, *Ch. debaryana* Corosch. – 2, *Ch. elliptica* Korsch. – 1, 2, 3, 4, *Ch. globosa* Snow – 1, 2, 3, 4, *Ch. media* Klebs – 1, 2, 3, 4, *Ch. minima* Korsch. – 1, 2, 3,

Ch. mucosa (Korsch.) Pasch. – 1, 2, 3, *Ch. oblonga* Anach. – 1, 2, 3, *Ch. oblongella* Lund – 1, 2, 3, *Ch. parietala* Dill. – 2, 3, *Ch. polychloris* Korsch. – 1, *Ch. regularis* Korsch. – 1, *Ch. reinchardii* Dang. – 1, 2, *Ch. reticulata* Gorosch. – 1, *Ch. sectilis* – 1, 2, *Ch. snowiae* Printz – 1, 2, 3, *Ch. vulgaris* Anach. – 1, 2, *Carteria mirtifilis* (Fres.) Dill. – 2, *Radiosphaera dissecta* (Korsch.) Fott – 3, *Actinochloris sphaerica* Korsch. – 1, 2, 3, 4, *Bracteacoccus minor* (Chodat) Petrova – 1, 2, 3, 4, *Chlorococcum humicola* (Näg.) Rabenh. – 1, 2, 3, 4, *Ch. dissectum* Korsch. – 3, *Ch. infusionum* (Schrank) Menegh. – 3, *Dictyococcus irregularis* Boye-Peters. – 1, 2, 3, 4, *D. varians* Gern. – 3, *Chlorochytrium paradoxum* (Klebs) G. S. West – 1, 3, *Characium acuminatum* A. Br. – 2, 3, *Ch. ornithocephalum* A. Br. – 2, *Kentrosphaera bristoliana* G.M. Smith – 1, 2, 3, 4, *Tetraëdron minimum* (A. Br.) Hansg. – 3, *Chlorella minutissima* Fott et Novacova – 3, *Ch. vulgaris* Beijer. – 1, 2, 3, 4, *Ankistrodesmus braunii* (Näg.) Collins – 3, *Coccomyxa solorinae*

Chodat. – 1, 2, 3, 4, *Keratococcus bicaudatus* (A. Br.) Boye-Peters. – 1, 2, 3, *Chlorosarcina minor* (Gern.) Horndon – 2, 3, *Ulothrix subtilissima* Rabenh. – 3, *U. variabilis* Kütz. – 3, *Uronema confervicolum* Lagerh. – 3, *Chlorhormidium dissectum* (Gay) Fareoqui – 3, *Ch. flaccidum* (Kütz.) Fott – 2, 3, 4, *Gloeotila protogenita* Kütz. – 2, 3, *Stichococcus bacillaris* Näg. sens. strict. – 4, *S. chodatii* (Bial.) Heer. – 1, 3, 4, *S. minor* Näg. – 2, 3, 4, *Koliella sempervirens* (Chodat) Hindák – 3, *Pleurastrum terrestre* Fritsch et John. – 3, *Mesotaenium macrococcum* (Kütz.) Roy et Biss. – 3, *Cylindrocystis brebissonii* Menegh. – 3, *C. crassa* De-Bary – 3, *Cosmarium decedens* (Reinsch) Racib. – 3.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья посвящается Любови Сергеевне Козловской (1922–1985) – наставнику, организатору почвенно-альгологических исследований в Карелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенова Н. П., Баранова О. Г. Краткий обзор урбанофлоры эдафотрофных водорослей и цианопрокариот г. Ижевска // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. 2010. Вып. 1. С. 27–41.
2. Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 149 с.
3. Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
4. Антипина Г. С. Развитие почвенных водорослей на вырубках северной тайги // Ботанический журнал. 1986. Т. 71. № 6. С. 794–798.
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: Материалы Международной научно-практической конференции. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. С. 25–30.
6. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
7. Домрачева Л. И., Кондакова Л. В., Зыкова Ю. Н., Ефремова В. А. Цианобактерии городских почв // Принципы экологии. 2013. Т. 2. № 4. С. 10–27.
8. Дубовик И. Е. Альгофлора промышленной зоны г. Уфы // Ботанические исследования на Урале. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
9. Дубовик И. Е. Перемещение водорослей аэрофитона и их поселения на различных субстратах // Альгология. 2002. Т. 67. № 1. С. 125–132.
10. Кабиров Р. Р. Почвенные водоросли техногенных ландшафтов: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1991. 35 с.
11. Кондакова Л. В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги Европейской части России): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.
12. Кондакова Л. В., Висич В. А. Флора почвенных водорослей г. Кирова // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Материалы Международной научно-практической конференции. Киров: Вятская ГСХА, 2010. С. 177–182.
13. Кузнецова Е. В. Альгофлора урбанизированных территорий города Мелеуз и его окрестностей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2006. 20 с.
14. Кузяхметов Г. Г. Распространение водорослей атмосферным воздухом зимой // Экология. 1978. № 5. С. 91–93.
15. Медведева М. В., Новиков С. Г., Федоренко Н. Г. Экологическая оценка состояния почв промышленной зоны города Петрозаводска // Проблемы региональной экологии. 2015. № 2. С. 6–10.
16. Некрасова К. А., Бусыгина Е. А. Некоторые уточнения к методу количественного учета почвенных водорослей // Ботанический журнал. 1977. Т. 62. № 2. С. 214–221.
17. Новаковская И. В., Патова Е. Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменение в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар: КомиНЦ УрО РАН, 2011. 128 с.
18. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1–11(2). Л.: Наука, 1951–1986.
19. Почва. Город. Экология. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
20. Почвенные водоросли антропогенно нарушенных экосистем. Новосибирск: НГПУ, 2014. 145 с.
21. Растения и лишайники города Петрозаводска: Аннотированные списки видов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 208 с.
22. Суханова Н. В. Почвенные водоросли городских экосистем: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 1996. 21 с.
23. Суханова Н. В., Фазлутдинова А. И., Гайсина Л. А., Богданова А. В. Флора почвенных водорослей и цианобактерий г. Нефтекамск (Республика Башкортостан) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5 (2). С. 115–117.
24. Суханова Н. В., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Цианобактериально-водорослевые ценозы почв крупного промышленного города // Научное обозрение. Биологические науки. 2015. № 1. С. 155–160 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://biology.science-review.ru/ru/article/view?id=429> (дата обращения 15.04.2016).

25. Трухницкая С. М., Чижевская М. В. Альгофлора рекреационных территорий Красноярской урбозеосистемы. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2008. 134 с.
26. Хайбуллина Л. С., Суханова Н. В., Кабиров Р. Р. Флора и синтаксономия почвенных водорослей и цианобактерий урбанизированных территорий. Уфа: Гилем, 2011. 214 с.
27. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 156 с.
28. Штина Э. А., Антипина Г. С., Козловская Л. С. Альгофлора болот Карелии и ее динамика под воздействием естественных и антропогенных факторов. Л.: Наука, 1981. 272 с.
29. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 142 с.
30. Dorokhova M. F., Kosheleva N. E., Terskaya E. V. Algae and Cyanobacteria in Soils of Moscow // *American Journal of Plant Sciences*. 2015. № 6. P. 2461–2471.
31. Brown R., Malcolm J., Larsen D. A., Bold H. C. Airborne algae: their abundance and heterogeneity // *Science*. 1964. Vol. 143. № 3606. P. 583–585.
32. Forman R. T. T. *Urban Ecology: Science of Cities*. Cambridge: University Press, 2014. 460 p.
33. Karsten U., Schumann R., Mostaert A. Aeroterrestrial Algae Growing on Man-Made Surfaces // *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Amsterdam: Springer, 2007. Vol. 11. P. 583–597.
34. *Soils in the Urban Environment*. Oxford, 2009. 365 p.

Antipina G. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

URBAN FLORA OF PETROZAVODSK: SOIL ALGAE OF FOREST COMMUNITIES UNDER ANTHROPOGENIC INFLUENCE

Research data on the anthropogenic dynamics of species composition and abundance of soil algae in spruce forests of Petrozavodsk (Republic of Karelia) are presented in the article. The soil algal flora of forest communities, deforestation sites, and soil dumps of construction sites were studied. The species composition of algae was defined and studied by means of the cultural method. The number of cells was evaluated directly in the soil 0–1 cm, the biomass was defined by the volumetric calculation method. The per gram data of absolutely dry soil are provided. Podzolic soils of spruce forest communities are characterized by stable algae flora, which is presented by 46 species of algae. Green algae dominate in the area. Differentiation in algae species composition growing in littered layers of soil and podzolic horizon was observed. A more intensive growth of algae was registered in littered layers of soil in comparison with podzolic horizon (the number of cells – 70,2 and 15,4 thousand, biomass – 0,02 and 0,006 mg, respectively). Dynamics of soil algal communities is determined by the degree of forest soils' transformation. Species composition of soil algae increased in the soils of deforestation sites. 68 species of soil algae were revealed in such zones. The filamentous green and blue-green algae had high occurrence, which is typical for sand substrates. The amount of algae increased significantly (up to 324 thousand cells, the biomass up to 0,122 mg) in the soils of deforestation sites. 32 species of algae growing in the soils of construction dumps demonstrated the minimum number of algal cells (2,7 thousand cells, biomass 0,001 mg). Totally 98 species of algae were found in the soils of studied areas (*Cyanophyta* (*Cyanobacteria*) – 16, *Bacillariophyta* – 12, *Euglenophyta* – 1, *Xanthophyta* – 14, *Chlorophyta* – 55). The differences in studied alga species compositions appear to be more significant than their similarities. Stable continuum of the soil algal flora was observed in conditions of heterogeneity of natural and transformed forest communities. A variety of taxonomic composition and multiple ecological groups of soil algae support this phenomenon.

Key words: urban flora, urban algal flora, soil algae, algal flora of forest soils, anthropogenic dynamics of algal flora

REFERENCES

1. Aksenova N. P., Baranova O. G. Overview of urban floras of edafofilnykh algae and cyanoprokaryota Izhevsk [Kratkiy obzor urbanoflory edafofil'nykh vodorosley i tsianoprokariot g. Izhevsk]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o zemle* [Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth sciences]. 2010. Vol. 1. P. 27–41.
2. Aleksakhina T. I., Shtina E. A. *Pochvennyye vodorosli lesnykh biogeotsenozov* [Soil algae of forest ecosystems]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 149 p.
3. Andreeva V. M. *Pochvennyye i aerofil'nye zelenye vodorosli (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)* [Soil and aerophilic green algae: (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998. 351 p.
4. Antipina G. S. The development of soil algae in the northern boreal deforestation sites [Razvitie pochvennykh vodorosley na vyrubkakh severnoy taygi]. *Botanicheskiy zhurnal*. 1986. Vol. 71. № 6. P. 794–798.
5. Antipina G. S., Komulaynen S. F. Structure and comparison of the agro and floristic complexes of urban ecosystems (on the example of the city of Petrozavodsk) [Struktura i sravnenie al'gofloristicheskikh kompleksov urbanizirovannykh ekosistem (na primere goroda Petrozavodsk)]. *Vodorosli i tsianobakterii v prirodnnykh i sel'skokhozyaystvennykh ekosistemakh: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kirov, VGSA Publ., 2010. P. 25–30.
6. Gollerbach M. M., Shtina E. A. *Pochvennyye vodorosli* [Soil algae]. Leningrad, Nauka Publ., 1969. 228 p.
7. Domracheva L. I., Kondakova L. V., Zyкова Yu. N., Efremova V. A. Cyanobacteria of urban soils [Tsianobakterii gorodskikh pochv]. *Printsipy ekologii* [Ecology principles]. 2013. Vol. 2. № 4. P. 10–27.
8. Dubovik I. E. Algal flora of the Ufa's industrial zone [Al'goflora promyshlennoy zony g. Ufy]. *Botanicheskie issledovaniya na Urale*. Sverdlovsk, UrO AN SSSR Publ., 1990. 30 p.
9. Dubovik I. E. Moving aerofitona algae and their settlements on various substrates [Peremeshchenie vodorosley aerofitona i ikh poseleniya na razlichnykh substratakh]. *Al'gologiya* [Algology]. 2002. Vol. 67. № 1. P. 125–132.
10. Kabirov R. R. *Pochvennyye vodorosli tekhnogennykh landshaftov: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [Soil algae are man-made landscapes: Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. St. Petersburg, 1991. 35 p.
11. Kondakova L. V. *Al'go-tsianobakterial'naya flora i osobennosti ee razvitiya v antropogenno narushennykh pochvakh (na primere pochv podzony yuzhnoy taygi Evropeyskoy chasti Rossii): Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk* [Algo-cyanobacterial flora and especially its development in anthropogenically disturbed soils (for example, soil southern taiga of the European part of Russia: Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Syktyvkar, 2012. 34 p.

12. Kondakova L. V., Visich V. A. Flora soil algae Kirov [Flora pochvennykh vodorosley g. Kirova]. *Vodorosli i tsianobakterii v prirodnykh i sel'skokhozyaystvennykh ekosistemakh: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Kirov, VGSKhA Publ., 2010. P. 177–182.
13. Kuznetsova E. V. *Al'goflora urbanizirovannykh territoriy goroda Meleuz i ego okrestnostey: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Algoflora urbanized areas of the city Meleuz and its environs. Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Ufa, 2006. 20 p.
14. Kuz'yakhmetov G. G. Distribution of algae atmospheric air in winter [Rasprostranenie vodorosley atmosferynym vozdukhom zimoy]. *Ekologiya* [Ecology]. 1978. № 5. P. 91–93.
15. Medvedeva M. V., Novikov S. G., Fedorets N. G. Environmental assessment of soil of the industrial zone of the city of Petrozavodsk [Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv promyshlennoy zony goroda Petrozavodsk]. *Problemy regional'noy ekologii*. 2015. № 2. P. 6–10.
16. Nekrasova K. A., Busygina E. A. Some refinements to the method of quantifying soil algae [Nekotorye utochneniya k metodu kolichestvennogo ucheta pochvennykh vodorosley]. *Botanicheskiy zhurnal*. 1977. Vol. 62. № 2. P. 214–221.
17. Novakovskaya I. V., Patova E. N. *Pochvennye vodorosli elovykh lesov i ikh izmenenie v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* [Soil algae spruce forests and their change in the conditions of environmental contamination]. Syktyvkar, KomiNTs UrO RAN Publ., 2011. 128 p.
18. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR* [Key to freshwater algae USSR]. Vol. 1–11(2). Leningrad, Nauka Publ., 1951–1986.
19. *Pochva. Gorod. Ekologiya* [The soil. City. Ecology]. Moscow, Fond “Za ekonomicheskuyu gramotnost'” Publ., 1997. 320 p.
20. *Pochvennye vodorosli antropogenno narushennykh ekosistem* [Soil algae anthropogenically disturbed ecosystems]. Novosibirsk, NGPU Publ., 2014. 145 p.
21. *Rasteniya i lishayniki goroda Petrozavodsk: Annotirovannye spiski vidov* [Plants and lichens of the city of Petrozavodsk. Annotated lists of species]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2010. 208 p.
22. Sukhanova N. V. *Pochvennye vodorosli gorodskikh ekosistem: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Soil algae of urban ecosystems: Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Ufa, 1996. 21 p.
23. Sukhanova N. V., Fazludinova A. I., Gaysina L. A., Bogdanova A. V. Flora soil algae and cyanobacteria Neftekamsk (Bashkortostan) [Flora pochvennykh vodorosley i tsianobakteriy g. Neftekamsk (Respublika Bashkortostan)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011. Vol. 13. № 5 (2). P. 115–117.
24. Sukhanova N. V., Fazludinova A. I., Kabiroy R. R. Cyanobacterial-algal cenoses soil of a large industrial city [Tsianobakterial'no-vodoroslevye tsenozy pochv krupnogo promyshlennogo goroda]. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki* [Scientific Review. Biological sciences]. 2015. № 1. P. 155–160. Available at: <http://biology.science-review.ru/ru/article/view?id=429> (accessed 15.04.2016).
25. Trukhnitskaya S. M., Chizhevskaya M. V. *Al'goflora rekreatsionnykh territoriy Krasnoyarskoy urboekosistemy* [Algoflora recreational areas Krasnoyarsk urboekosistemy]. Krasnoyarsk, KrasGAU Publ., 2008. 134 p.
26. Khaybullina L. S., Sukhanova N. V., Kabiroy R. R. *Flora i sintaksonomiya pochvennykh vodorosley i tsianobakteriy urbanizirovannykh territoriy* [Flora and syntaxonomy soil algae and cyanobacteria urbanized areas]. Ufa, Gilem Publ., 2011. 214 p.
27. Schmidt V. M. *Matematicheskie metody v botanike* [Mathematical methods in botany]. Leningrad, LGU Publ., 1984. 156 p.
28. Shtina E. A., Antipina G. S., Kozlovskaya L. S. *Al'goflora bolot Karelii i ee dinamika pod vozdeystviem estestvennykh i antropogennykh faktorov* [Algoflora Karelia marshes and its dynamics under the influence of natural and anthropogenic factors]. Leningrad, Nauka Publ., 1981. 272 p.
29. Shtina E. A., Gollerbach M. M. *Ekologiya pochvennykh vodorosley* [Ecology of soil algae]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 142 p.
30. Dorokhova M. F., Kosheleva N. E., Terskaya E. V. Algae and Cyanobacteria in Soils of Moscow // *American Journal of Plant Sciences*. 2015. № 6. P. 2461–2471.
31. Brown R., Malcolm J., Larsen D. A., Bold H. C. Airborne algae: their abundance and heterogeneity // *Science*. 1964. Vol. 143. № 3606. P. 583–585.
32. Forman R. T. T. *Urban Ecology: Science of Cities*. Cambridge: University Press, 2014. 460 p.
33. Karsten U., Schumann R., Mostaert A. *Aeroterrestrial Algae Growing on Man-Made Surfaces* // *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*. Amsterdam: Springer, 2007. Vol. 11. P. 583–597.
34. *Soils in the Urban Environment*. Oxford, 2009. 365 p.

Поступила в редакцию 19.05.2016