

УДК 582.263:631.44:635.928(476.2-21Гомель)

Структура сообществ зеленых водорослей некоторых придорожных газонов города Гомеля

Ю.М. БАЧУРА, Т.С. СУКАЛИНА

Проанализирован видовой состав зеленых водорослей почв придорожных газонов 12 улиц города Гомеля, установлены их жизненные формы и морфотипы. Показано, что альгосообщества зеленых водорослей исследуемых улиц характеризуются разнородным видовым составом; при этом в составе водорослевых сообществ всех улиц отмечено доминирование представителей семейств *Chlorellaceae* и *Chlorococcaceae*; в спектрах жизненных форм и морфотипов преобладали виды *Ch*-жизненной формы коккоидного морфотипа.

Ключевые слова: почвенные водоросли, морфотипы, жизненные формы, антропогенная нагрузка, сообщества зеленых водорослей.

The species composition of green algae in the soil of roadside lawns of 12 streets of the city of Gomel was analyzed, their life forms and morphotypes were established. It was shown that the algal communities of green algae of the streets under study are characterized by a heterogeneous species composition; while in the composition of algal communities of all streets, the dominance of representatives of the *Chlorellaceae* and *Chlorococcaceae* families was noted; In the spectra of life forms and morphotypes, species of the *Ch*-life form of the coccoid morphotype prevailed.

Keywords: soil algae, morphotypes, life forms, human pressure, communities of green algae.

Почва – это неотъемлемая часть любой наземной экосистемы и основной природный банк микроорганизмов, жизнедеятельность которых, с одной стороны, зависит от почвенных условий, а, с другой стороны, почвенные микроорганизмы могут оказывать влияние на ряд физико-химических показателей почвы [1]. Одним из факторов, ухудшающих экологическое состояние почвенного покрова и функционирующих в почве микробоценозов, являются процессы деградации земель, которые в настоящее время носят глобальный характер и служат одной из главных причин экологического кризиса [2]. Увеличение проявления процессов деградации земель на территории Беларуси во многом связано с наличием экологически неустойчивых земель/почв, значительная часть которых используется для сельскохозяйственных целей, а также занята населенными пунктами, промышленными и другими хозяйственными объектами [3].

Вследствие постоянно идущего процесса урбанизации все больше внимания требуют городские почвы, которые одновременно являются и пусковым механизмом, и постоянным регулятором городского почвообразования и находятся под «прессом» города [4], [5]. Под влиянием антропогенных факторов происходит изменение плотности почвы, ее водопроницаемости, реакции почвенного раствора, содержания в ней макро- и микроэлементов, могут накапливаться токсические вещества, что сказывается на биохимических и микробиологических процессах в почве [6].

Согласно данным почвенно-альгологических исследований [6]–[9], почвенные водоросли и цианобактерии принимают активное участие в формировании микробоценозов антропогенно-преобразованных почв, обладают рядом приспособительных особенностей, механизмов адаптации и стрессоустойчивости, позволяющих выживать в неблагоприятных условиях существования городских почв. Они быстро реагируют на изменение почвенных условий, отличаются ступенчатым откликом на действие возмущающих факторов, просты в культивировании, что обуславливает возможность их использования для оценки состояния почвенного покрова, экологического мониторинга почвы.

Цель работы – изучение и анализ состава и структуры сообществ почвенных зеленых водорослей придорожных газонов г. Гомеля.

Город Гомель – второй по численности населения город в Беларуси, являющийся крупным транспортным узлом и развитым промышленным центром с интенсивным ведением пригородного сельского хозяйства.

Материалом для исследования были образцы, отобранные на придорожных газонах улиц Гомеля, отличающихся уровнем интенсивности движения транспорта (рисунок 1).



Рисунок 1 – Фрагмент карты города Гомеля с указанием улиц отбора образцов (отмечены звездочкой, 1:86 000 [10])

I группа улиц характеризуется интенсивным транспортным потоком; движением общественного транспорта; по улицам данной группы разрешен проезд грузовых автомобилей (шестиполосные, разделенные газоном: улица Барыкина (БР) и улица Хатаевича (ХТ); четырехполосные: Речицкий проспект (РП), проспект Октября (ПО), улица Свиридова (СВ); трехполосная улица Кирова (КР); двухполосная улица 60 лет СССР (ЛС) или запрещен (шестиполосная улица Советская (СК)). II группа улиц – узкие улицы с двухполосным движением немногочисленного легкового транспорта; отсутствует/практически отсутствует движение общественного и грузового транспорта (улицы Старочерниговская (СЧ), Жукова (ЖК), Ивана Мележа (МЛ), Макаенка (МК)).

Отбор образцов проводили в 5 повторностях с соблюдением правил стерильности способом случайного отбора [11], [12]. При установлении видового состава водорослей использовали культуральные методы: почвенные культуры со стеклами обрастания и агаровые культуры [13]. Степень развития водорослей и цианей оценивали по 3-балльной шкале Р.Р. Кабирова [14]. Систематическое положение объектов приводили по данным сайта Algaebase [15]. Жизненные формы определяли по системе Э.А. Штиной и М.М. Голлербаха [11], морфотипы – по Ж.Ф. Пивоваровой [9]. Для сравнения состава альгосообществ рассчитывали коэффициенты сходства систематического состава Сьеренсена-Чекановского при помощи программного модуля «GRAPHS» [16], отображая результаты в виде дендрограмм. Данные обрабатывали с помощью компьютерных программ Microsoft Excel 2010, StatSoft Statistica 7.0.

В ходе проведенного исследования было выявлено 52 вида зеленых водорослей, относящихся к 32 родам, 21 семейству, 11 порядкам, 6 классам. Наиболее широко в почве исследуемых улиц были представлены виды классов Chlorophyceae (48,1 %) и Trebouxiophyceae

(34,6 %), что типично для почв урбанизированных территорий [6]. Значительна была доля представителей порядков Chlamydomonadales (32,7 %), Chlorellales (19,2 %) и Sphaeropleales (13,5 %). В семейственном спектре преобладали Chlorellaceae (15,4 %), Chlamydomonadaceae (13,5 %) и Chlorococcaceae (9,6 %). Большинство семейств включали от одного до четырех видов, т. е. являлись маловидовыми, что указывает на упрощенную структуру группировок зеленых водорослей [17]. Наибольшим количеством видов были представлены рода *Chlamydomonas* (7 видов) и *Chlorella* (4 вида).

В экологическом отношении среди водорослей преобладали эдафотрофные представители (96,1 %), доля амфибиальных видов составила 3,9 %. Большинство эдафотрофных водорослей относились к Ch-жизненной форме (44,2 %) – это виды, отличающиеся выносливостью к различным экстремальным условиям. На долю водорослей H-формы приходилось 23,1 % от общего количества видов (нитевидные, неустойчивые против засухи и сильного нагревания представители). Виды C-формы составили 15,4 % (одноклеточные, колониальные или нитчатые формы, способные к образованию обильной слизи, помогающей переносить неблагоприятные условия), X-жизненной формы – 13,5 % (одноклеточные теневыносливые водоросли, неустойчивые против засухи и экстремальных температур) [11], [18]. Преобладание водорослей-убиквистов Ch-формы свидетельствует о неблагоприятности городской почвы как среды обитания для зеленых водорослей.

При характеристике альгогруппировок особое внимание уделяют типу морфологического строения водорослей [9], [19]. Спектр морфотипов исследуемых городских почв имел общую формулу: $K_{32} K K_6 H_7 M_7$. Преобладающим морфотипом на всех участках был коккоидный морфотип (K) – это одноклеточные неподвижные водоросли, существующие дисперсно среди почвенных частиц, на их долю пришлось – 61,5 %.

Интенсивность транспортной нагрузки оказывает значительное влияние на видовой состав, соотношение представленности таксонов, жизненных форм и морфотипов альгоцианобактериальных сообществ, при изменении уровня нагрузки происходит выпадение одних и «вселение» других видов, меняется состав доминирующих видов [6], [20]. В ходе работы было исследовано 12 улиц города Гомеля с различным уровнем транспортной загруженности (характеристика улиц приведена в методике исследования).

Сравнение состава таксонов водорослей исследуемых улиц представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Таксономический состав Chlorophyta исследуемых улиц

Таксоны	Улицы											
	СК	КР	СЧ	БР	РП	ЖК	ПО	ЛС	МЛ	ХТ	СВ	МК
Классов	4	4	4	5	4	6	5	4	5	5	6	6
Порядков	8	7	6	8	8	9	8	7	7	8	9	9
Семейств	11	13	10	13	11	14	12	11	11	12	15	17
Родов	12	16	12	15	14	18	12	13	15	16	20	22
Видов	14	20	17	21	21	24	15	20	21	23	28	33

Примечание: СК (Советская), КР (Кирова), СЧ (Старо-черниговская), БР (Барыкина), РП (Речицкий пр-т), ЖК (Жукова), ПО (пр-т Октября), ЛС (60 лет БССР), МЛ (Мележа), ХТ (Хатаевича), СВ (Свиридова), МК (Макаенка).

Количество классов на исследуемых участках варьировало незначительно, наибольшее разнообразие классов отмечено на улицах Жукова, Макаенка (улицы с низкой транспортной загруженностью) и Свиридова (характеризовалась средней интенсивностью транспортной нагрузки). При анализе представленности порядков и семейств четких закономерностей не выявлено. Наибольшее количество видов было отмечено на улицах с низким или средним уровнем транспортной нагрузки (Макаенка, Свиридова, Жукова), что свидетельствует о более благоприятных условиях существования для них.

Сравнение данных по представленности порядков (рисунок 2) показывает, что уменьшение транспортной нагрузки привело к увеличению таксономического разнообразия зеле-

ных водорослей почв; при этом в почвах всех улиц сохранилось преобладание представителей порядков Chlamydomonadales (26,7–42,8 %) и Chlorellales (17,8–26,1 %).

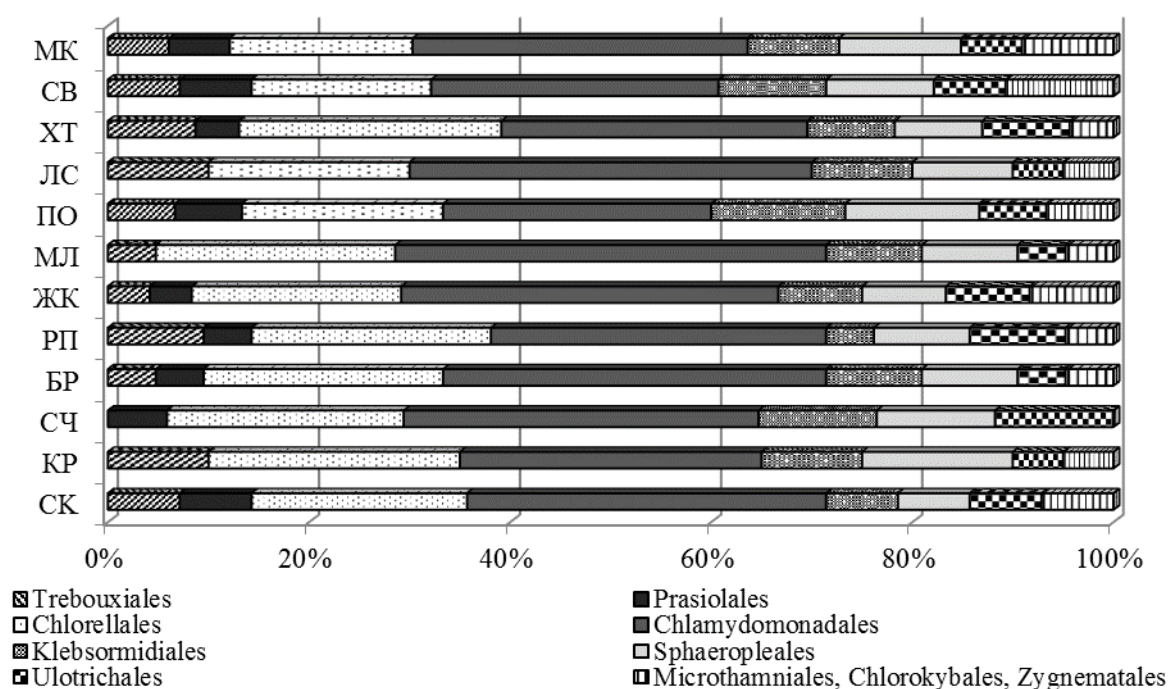


Рисунок 2 – Соотношение представленности порядков

Наиболее редко в почве исследуемых улиц встречались виды порядков Microthamniales, Chlorokybales и Zygnematales (выявлены в почве менее 50 % исследованных улиц; представлены 1–2 видами).

Спектры семейств зеленых водорослей улиц также отличались (таблица 2).

Таблица 2 – Распределение видов зеленых водорослей по семействам

Семейство	Улицы											
	СК	КР	СЧ	БР	РП	ЖК	МЛ	ПО	ЛС	ХТ	СВ	МК
Actinochloridaceae	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Bracteacoccaceae	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Characiaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Chlamydomonadaceae	2	2	2	3	3	3	1	1	1	3	3	4
Chlorellaceae	2	4	3	5	5	5	5	3	4	4	4	4
Chlorococcaceae	2	3	2	2	2	3	5	1	5	2	3	3
Chlorokybaceae	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
Chlorosarcinaceae	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
Coccomyxaceae	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1
Klebsormidiaceae	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3
Mesotaeniaceae	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2	2
Microthamniaceae	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Neochloridaceae	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oocystaceae	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	2
Prasiolaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Prasiolaales incertae sedis	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1
Scenedesmaceae	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Selenastraceae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trebouxiaceae	0	1	0	1	2	0	0	0	1	1	1	1
Trebouxiophyceae incertae sedis	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Ulotrichaceae	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2
Количество видов	14	20	17	21	21	24	21	15	20	23	28	33

При этом были отмечены общие черты альгосообществ зеленых водорослей: в почве всех исследуемых улиц доминировали представители семейства *Chlorellaceae* (12,1–23,8 %), активно вегетировали также виды *Chlorococcaceae* (6,7–25,0 %) – это в основном одноклеточные представители, способные переживать неблагоприятные условия вследствие своей мелкоклеточности и способности быстро переходить из состояния покоя к состоянию активной вегетации. Их превалирование в урбанизированных почвах отмечено рядом почвенных альгологов [4], [6], [7]. На большинстве участков значительна была доля представителей *Chlamydomonadaceae* (10,0–14,3 %), которые при ухудшении условий существования переходят в пальмеллевидное состояние [11].

Оценка уровня сходства видового состава сообществ зеленых водорослей исследуемых улиц представлена на рисунке 3.

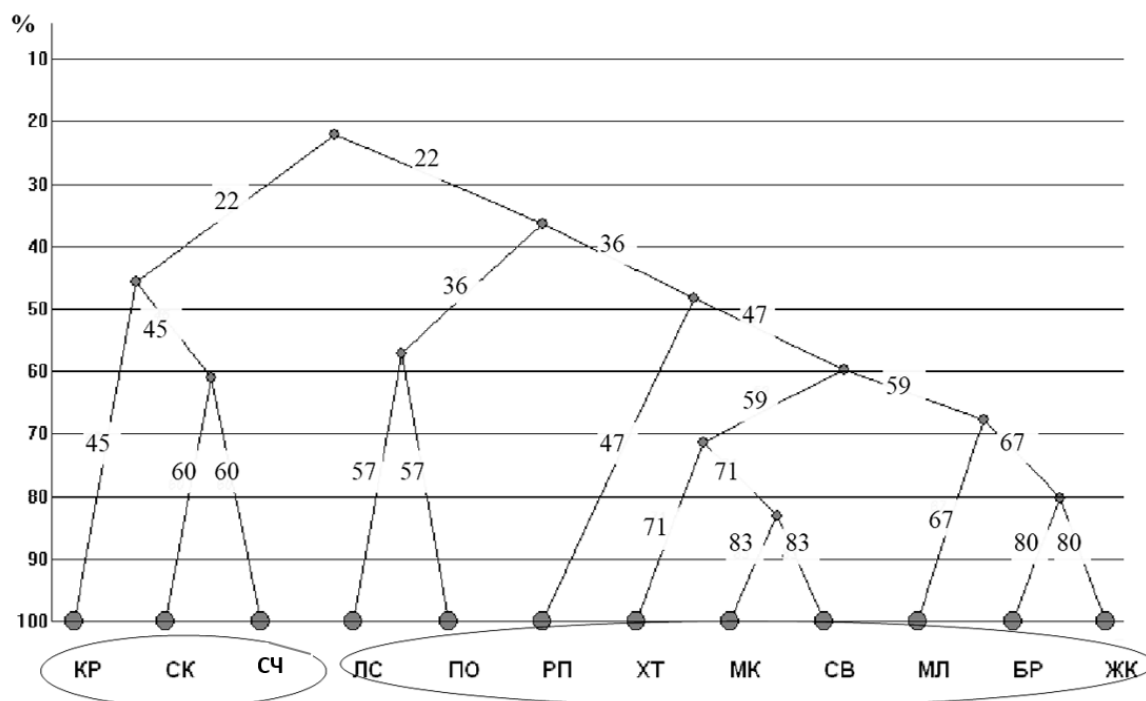


Рисунок 3 – Дендрограмма сходства таксономической структуры сообществ зеленых водорослей

Альгосообщества *Chlorophyta* исследованных улиц сформировали 2 обособленных кластера: первая группа включала сообщества улиц Советская, Кирова и Старочерниговская (Центральный район), вторая группа – улицы Макаенка, Свиридова, Хатаевича, Мележа, Барыкина, Жукова, 60 лет СССР, проспектов Речицкий и Октября (Советский и Железнодорожный районы). Общими для двух кластеров были виды-убиквиты *Ch*-жизненной формы родов *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Tetracystis*, *Chlorosarcinopsis*, а также единичные представители родов *H*- и *X*-форм (*Klebsormidium flaccidum*, *Scotiellopsis* sp.).

Высокий уровень сходства между альгогруппировками зеленых водорослей (80–83 %) обеспечивали виды *C*-, *Ch*-, *H*- и *X*- жизненных форм. По мере снижения коэффициента сходства между сообществами наблюдали сокращение в составе «групп сходства» доли водорослей *C*-, *X*- и *H*-форм и увеличение доли представителей *Ch*-жизненной формы.

Экологическая структура сообществ и спектры морфотипов зеленых водорослей приведены в таблице 3. Установлено увеличение видового богатства зеленых водорослей на улицах с низкой транспортной загруженностью (ЖК, МЛ, МК) по сравнению с более загруженными улицами данного района исследования (БР→РП→ЖК, ПО→ЛС→МЛ, ХТ→СВ→МК) за счет «вселения» в сообщества представителей *Ch*- и *C*-жизненных форм (способны существовать в неблагоприятных условиях, являясь убиквитами или слизиобразователями [18]).

Таблица 3 – Эколого-морфологическая характеристика альгосообществ

Улицы	Экологическая структура					Спектр морфотипов				Количество видов
	Ch	H	C	X	amph	K	KK	H	M	
СК	6	4	2	1	1	6	2	4	2	14
КР	8	4	2	5	1	11	2	5	2	20
СЧ	7	3	3	4	0	10	3	2	2	17
БР	13	4	3	1	0	12	3	3	3	21
РП	13	3	3	2	0	12	3	3	3	21
ЖК	14	5	3	1	1	14	3	4	3	24
ПО	8	4	1	1	1	9	1	4	1	15
ЛС	12	4	1	2	1	11	4	4	1	20
МЛ	13	4	2	1	1	11	5	4	1	21
ХТ	14	3	3	2	1	13	3	4	3	23
СВ	13	8	3	3	1	17	3	5	3	28
МК	17	8	4	3	1	20	4	5	4	33

В распределении эдафотрофных видов Х- и Н-форм, а также амфибиальных представителей закономерностей не отмечено, что обусловлено требовательностью водорослей данных экологических групп и жизненных форм к водному режиму почвы [11], [19], [21] и нестабильностью влагообеспеченности придорожных газонов [22].

Анализ спектра морфотипов зеленых водорослей исследуемых улиц показал увеличение количества видов с коккоидной и колониально-коккоидной морфоструктурами при увеличении интенсивности транспортной нагрузки по районам исследования (СК→КР→СЧ, БР→РП→ЖК, ПО→ЛС→МЛ, ХТ→СВ→МК). Виды нитчатого морфотипа были распределены на улицах без особой приуроченности; они типичны для почв улиц, механически оплетая частицы почвы, способствуют улучшению структуры почвы антропогенно-преобразованных почв [4], [8], [9], [11].

Таким образом, в ходе проведенного исследования был изучен видовой состав почвенных зеленых водорослей некоторых придорожных газонов города Гомеля и выявлено 52 вида водорослей, относящихся к 32 родам, 21 семейству, 11 порядкам, 6 классам. Установлены общие формулы спектров жизненных форм и морфотипов флоры зеленых водорослей придорожных газонов ($Ch_{23} H_{12} C_8 X_7 amph_2$ и $K_{32} KK_6 H_7 M_7$ соответственно), показывающие преобладание в составе альгосообществ одноклеточных водорослей-убииквистов Ch-жизненной формы коккоидного морфотипа.

Показано, что альгосообщества зеленых водорослей придорожных газонов исследуемых городских улиц характеризуются разнородным видовым составом, что обусловлено гетерогенностью почвенного покрова; при этом в составе водорослевых сообществ всех улиц отмечено доминирование представителей семейств Chlorellaceae и Chlorococcaceae; в спектрах жизненных форм и морфотипов сохранилась тенденция преобладания видов Ch-жизненной формы коккоидного морфотипа. Установлено, что высокий уровень сходства между альгогруппировками зеленых водорослей (80–83 %) обеспечивают виды C-, Ch-, H- и X- жизненных форм. По мере снижения коэффициента сходства между сообществами наблюдается сокращение в составе «групп сходства» доли водорослей C-, X- и H-форм и увеличение доли представителей Ch-жизненной формы.

Литература

1. Голлербах, М.М. Почвенные водоросли / М.М. Голлербах, Э.А. Штина. – М. : Наука, 1969. – 228 с.
2. Добровольский, Г.В. Экология почв. Учение об экологических функциях почв / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : МГУ, 2012. – 412 с.
3. Цытрон, Г.С. Антропогенно-преобразованные почвы Беларуси / Г.С. Цытрон. – Минск : РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», 2004. – 124 с.
4. Трухницкая, С.М. Альгофлора рекреационных территорий красноярской урбоэкосистемы / С.М. Трухницкая, М.В. Чижевская. – Красноярск : КрасГАУ, 2008. – 134 с.

5. Строганова, М.Н. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов Южной тайги / М.Н. Строганова, А.В. Раппопорт // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1094–1101.
6. Хайбуллина, Л.С. Флора и синтаксономия почвенных водорослей и цианобактерий урбанизированных территорий / Л.С. Хайбуллина, Н.В. Суханова, Р.Р. Кабиров. – Уфа : Гилем, 2011. – 216 с.
7. 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. ... докт. биол. наук : 03.02.08 ; 03.02.01 / Л.В. Кондакова ; Вятск. гос. гуманитарн. ун-т, лаб. биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – Сыктывкар, 2012. – 34 с.
8. Бачура, Ю.М. Почвенные водоросли и цианобактерии антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона) / Ю.М. Бачура. – Чернигов : Десна Полиграф, 2016. – 156 с.
9. Почвенные водоросли антропогенно нарушенных экосистем / Ж.Ф. Пивоварова [и др.]. – Новосибирск : НГПУ, 2014. – 146 с.
10. Гомель. Карта Гомеля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.raster-maps.com/images/maps/rastr/belorussia/atlas/belorussia_23_1. – Дата доступа : 25.01.2018.
11. Штина, Э.А. Экология почвенных водорослей / Э.А. Штина, М.М. Голлербах. – М. : Наука, 1976. – 143 с.
12. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / редкол. : І.Ю. Костіков [та інш.]. – Київ : Фітосоціоцентр, 2001. – 300 с.
13. Современные методы выделения, культивирования и идентификации зеленых водорослей (Chlorophyta) / А.Д. Темралеева [и др.] ; под общ. ред. А.Д. Темралеевой. – Кострома : Костромской печатный дом, 2014. – 215 с.
14. Кабиров, Р.Р. Выделение почвенных альгоценозов методом Браун-Бланке / Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова, Л.С. Хайбуллина ; Башк. гос. пед. ун-т. – Уфа, 1999. – 35 с.
15. Database of information on algae that includes terrestrial, marine and freshwater organisms [Electronic resource] / ed. M.D. Guiry. – 1996–2013. – Mode of access : <http://www.algaebase.org>. – Date of access : 15.11.2017.
16. Новаковский, А.Б. Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS» / А.Б. Новаковский. – Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2004. – 31 с.
17. Новаковская, И.В. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения / И.В. Новаковская, Е.Н. Патова. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2011. – 128 с.
18. Алексахина, Т.И. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов / Т.И. Алексахина, Э.А. Штина. – М. : Наука, 1984. – 148 с.
19. Фитоценотическая организация группировок почвенных водорослей антропогенно нарушенных экосистем : монография / Ж.Ф. Пивоварова [и др.]. – Новосибирск : НГПУ, 2015. – 217 с.
20. Кабиров, Р.Р. Почвенные водоросли городских газонов (Уфа, Башкортостан) / Р.Р. Кабиров, Н.В. Суханова // Ботанический журнал – 1997. – Т. 82, № 3. – С. 46–57.
21. Ефремова, Е.В. Сообщества почвенных водорослей и цианобактерий в экологической оценке городских почв (на примере г. Кирова) : автореф. дис. ... кан. биол. наук : 03.02.01 / Е.В. Ефремова ; ВятГГУ. – Киров, 2014. – 176 с.
22. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация : учеб. пособие / М.И. Герасимова [и др.] ; под ред. Г.В. Добровольского. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.