
ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY AND CONSERVANCY

УДК 579.64

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛЬГОФЛОРЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ЕЕ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ

Е. Е. ГАЕВСКИЙ¹⁾, Я. К. КУЛИКОВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В результате исследований таксономического состава и количественного развития на дерново-подзолистой песчаной почве разной степени оптимизации выявлено 45 видов почвенных водорослей, принадлежащих в основном к четырем отделам: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta. Также отмечены единичные представители отделов Euglenophyta и Rhodophyta. Разные отделы представлены неравнозначно. Большинство обнаруженных представителей – эдафотрофные водоросли, участие гидрофильных водорослей в формировании альгогруппировок исследуемых участков незначительно (представлены одним видом – *Cosmarium undulatum* var. *minutum* Wittr.), амфибиальных водорослей не найдено. Видовой состав и спектр жизненных форм в вариантах опыта различаются. Контрольный вариант представлен наименьшим количеством видов, также в нем отсутствуют азотфиксирующие цианобактерии.

Ключевые слова: почвенные водоросли; песчаная почва; окультуривание; эколобиоморфы.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам биологического факультета БГУ: доктору биологических наук главному научному сотруднику НИЛ гидроэкологии Т. М. Михеевой и кандидату биологических наук доценту кафедры общей экологии и методики преподавания биологии Т. А. Макаревич – за консультации и помощь при определении и идентификации видовой принадлежности водорослей.

Образец цитирования:

Гаевский ЕЕ, Куликов ЯК. Оптимизация альгофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях ее окультурирования. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* 2019;3:79–91.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-3-79-91>

For citation:

Gaevskii EE, Kulikov YK. Optimization of algaeflora of sod-podzolic sand soil in the conditions of its cultivation. *Journal of the Belarusian State University. Biology.* 2019;3:79–91. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-1722-2019-3-79-91>

Авторы:

Евгений Евгеньевич Гаевский – старший преподаватель кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Ярослав Константинович Куликов – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры общей экологии и методики преподавания биологии биологического факультета.

Authors:

Eugene E. Gaevskii, senior lecturer at the department of ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

gaevskii@rambler.ru

Yaroslav K. Kulikov, doctor of science (biology), docent; professor at the department of ecology and methods of biology teaching, faculty of biology.

ecodept@tut.by

OPTIMIZATION OF ALGOFLORA OF SOD-PODZOLIC SAND SOIL IN THE CONDITIONS OF ITS CULTIVATION

E. E. GAEVSKII^a, Y. K. KULIKOV^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: E. E. Gaevskii (gaevski@rambler.ru)

As a result of studies of the taxonomic composition and quantitative development of soil algae on sod-podzolic sandy soil of varying degrees of optimization 45 species of soil algae were identified that belong mainly to four divisions: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta. Also in the soil were found not numerous representatives of divisions Euglenophyta and Rhodophyta. Different departments are represented unequally. Most of the found representatives we edaphophilic algae, the participation of hydrophilic algae in the formation of algogroups at the studied sites was insignificant (represented by one species of *Cosmarium undulatum* var. *minutum* Wittr.). No amphibial algae were found. The species composition and the spectrum of life forms in different versions of the experiment varied. The control variant of the experiment was represented by the smallest number of species; there are also no nitrogen-fixing cyanobacteria in the soil.

Keywords: soil algae; sandy soil; cultivation; ecobiomorphs.

Acknowledgements. The author expresses sincere gratitude to T. M. Mikheyeva, doctor of biological sciences, chief researcher at the research laboratory of hydroecology of the Belarusian State University, and T. A. Makarevich, associate professor at the department of general ecology and methods of biology teaching, Belarusian State University for consulting and assistance in determining and identifying the algae species.

Введение

Экологические функции почв очень динамичны и обладают высокой степенью изменчивости в зависимости от свойств и состава этой важнейшей для биосферных процессов субстанции, что делает ее чрезвычайно чувствительной к влиянию хозяйственной деятельности человека. На сегодняшний день актуальна задача сохранения существующего разнообразия почвенного покрова и механизмов, поддерживающих почвенное плодородие. Основным показателем экологического состояния почв является их биологическая составляющая, и прежде всего альгофлора [1].

Антропогенно-преобразованные почвы рассматриваются как определенный этап их естественно-антропогенной эволюции, сопровождающейся генетически обусловленным изменением режимов, процессов, строения и свойств на всех стадиях преобразований. Степень антропогенных трансформаций весьма различна, затрагивает любые части профиля и зависит как от интенсивности и длительности воздействий, так и от свойств исходных почв. Классификационная оценка антропогенно-преобразованных почв не связана с целью и механизмами антропогенных воздействий и учитывает исключительно их результаты, так или иначе отраженные в профиле почв и его свойствах [2].

Среди антропогенно-преобразованных наиболее широко распространены агрогенные почвы разных стадий трансформаций. Систему горизонтов этих почв в большинстве случаев определяет наличие нового поверхностного агрогенно-преобразованного горизонта (агрогоризонта), гомогенного, сформировавшегося при долговременных регулярных механических перемещениях почвенной массы и внесении различных органических и минеральных веществ. В результате горизонт приобретает отличную от естественных почв организацию почвенной массы, характеризуется изменением вещественного состава и особыми водно-физическими, физико-химическими и биологическими показателями [3].

При длительном сельскохозяйственном использовании земель наблюдается глубокая трансформация почвенного биоценоза, проявляющаяся в снижении общей численности, биомассы и видового разнообразия водорослей [4]. Их количество в почвах зависит от условий среды, особенно от водного и солевого режимов, типа наземной растительности, а в окультуренных почвах – от агротехнических приемов [5].

При трансформации экосистем происходит агроэкологическая дифференциация альгофлоры, проявляющаяся в резком снижении разнообразия цианобактерий и изменении систематической структуры по полям севооборотов. По градиенту уменьшения интенсивности агротехнического воздействия на почву от паровых полей до посевов многолетних трав отмечается увеличение доли цианобактерий [6].

Система севооборота, удобрений и обработки почвы, изменяя стабильность и экологическую емкость местообитания, оказывает влияние на структуру и устойчивость альгоценозов почвы, а также

на количественные характеристики отдельных популяций. Формирование и функционирование альгоценозов в большей мере зависят от проективного покрытия растениями, обеспечивающего быстроту затенения поверхности почвы растущими культурами [7; 8].

После агромелиоративных приемов, в частности осушения и глубокого рыхления, формируется структура агроценозов окультуренных пахотных почв. Она сохраняется в течение длительного времени и отличается высоким видовым разнообразием водорослей, в основном за счет желтозеленых водорослей, которые являются основными показателями состояния окультуренности почв [9].

Таким образом, основными факторами, которые оказывают влияние на развитие цианобактерий и водорослей в окультуренных (агрогенно-преобразованных) почвах, являются агротехнические и агрохимические мероприятия. Особенно это актуально для дерново-подзолистых песчаных почв, отличающихся преобладанием аэробных процессов над анаэробными, высокой биологической активностью, низким содержанием органического вещества и минеральных питательных веществ, невысокой емкостью поглощения, слабой буферной способностью, а также неустойчивым водным режимом.

В этой связи целью нашей работы являлось изучение влияния землевания и торфования дерново-подзолистой песчаной почвы на структурную организацию альгофлоры.

Материалы и методы исследования

Полевой опыт был заложен в 2006 г. на базе хозяйства ОАО «ПМК-16-АГРО» около агрогородка Пересады Борисовского района Минской области на дерново-подзолистой связнопесчаной почве. Схема полевого опыта включала 5 вариантов. На делянки площадью 50 м² в четырехкратной повторности вносили суглинок из расчета 100; 200; 300 и 400 т/га, а также торфонавозный компост в дозе 200 т/га при соотношении навоза и торфа 1 : 1. Суглинок вносили с целью изменить гранулометрический состав почвы, повысить содержание в ней физической глины и превратить ее в связную супесь. Торфонавозный компост применяли не только для повышения содержания гумуса в почве, но и для активизации деятельности почвенной микробиоты. В восьмой год проведения оптимизации на полевом участке культивировалась зерновая культура овес (2013), в девятый год – кукуруза (2014). В 2015–2016 гг. выращивались ячмень и пшеница.

Отбор образцов проводили в июле и сентябре по общепринятой в почвенной альгологии методике. Видовой состав водорослей выявляли методами почвенных культур со стеклами обрастания, водных и агаровых культур [8; 10].

Идентификацию водорослей осуществляли с помощью микроскопа Carl Zeiss AxioStar (Германия) и определителей, таксономическое положение объектов приведено по каталогу Т. М. Михеевой [11].

Результаты и их обсуждение

При изучении альгофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы после оптимизации под действием торфования и землевания выявлено 45 видов водорослей, относящихся в основном к трем отделам: Chlorophyta, Cyanophyta и Bacillariophyta. Ниже представлено таксономическое положение объектов по каталогу Т. М. Михеевой.

Отдел: **Cyanophyta**

Класс: **Chroococcophyceae**

Порядок: **Chroococcales**

Семейство: **Synechococcaceae**

Synechocystis aquatilis Sauv., Ch-форма

Семейство: **Microcystidaceae**

Microcystis pulverea f. *incerta* (Lemm.) Elenk., C-форма

Класс: **Chamaesiphonophyceae**

Порядок: **Dermocarpales**

Семейство: **Dermocarpaceae**

Dermocarpa Swirenkoi Shirshov, C-форма

Класс: **Hormogoniophyceae**

Порядок: **Oscillatoriales**

Семейство: **Oscillatoriaceae**

Oscillatoria angustissima W. et G. S. West, P-форма

O. brevis (Kütz.) Gom., P-форма

O. lacustris (Kleb.) Geitl., P-форма

O. pseudogeminata G. Schmid, P-форма

Phormidium foveolarum (Mont.) Gom., P-форма

Ph. laminosum f. *weedii* Fild, P-форма
Ph. molle (Kütz.) Gom. f. *molle*, P-форма
Lyngbya aerugineo-coerulea (Kütz.) Gom. f. *aerugineo-coerulea* (= *L. aerugineo-coerulea* (Kütz.) Gom.), P-форма

Порядок: **Nostocales**

Семейство: **Nostocaceae**

Nostoc punctiforme (Kütz.) Hariot f. *punctiforme* (= *Amorphonostoc punctiforme* (Kütz.) Elenk.), Cf-форма

Семейство: **Anabaenaceae**

Cylindrospermum majus Kütz., Cf-форма
Anabaena spiroides f. *crassa* (Lemm.) Elenk., Cf-форма
Anabaena variabilis Kütz. f. *variabilis*, Cf-форма

Семейство: **Scytonemataceae**

Tolypothrix tenuis Kütz. f. *tenuis*, M-форма

Отдел: **Bacillariophyta**

Класс: **Pennatophyceae**

Порядок: **Raphales**

Семейство: **Naviculaceae**

Pinnularia borealis Ehr. var. *borealis*, B-форма
P. microstauron var. *brebissonii* f. *diminuta* Grun., B-форма
P. viridis (Nitzsch.) Ehr. var. *viridis* (= *Navicula viridis* Kütz.; = *P. viridis* var. *clevei* Meist.), B-форма

Семейство: **Cymbellaceae**

Cymbella pusilla Grun., B-форма

Семейство: **Nitzschiaceae**

Hantzschia amphioxys (Ehr.) Grun. var. *amphioxys*, B-форма

Отдел: **Xanthophyta**

Класс: **Xanthococcophyceae**

Порядок: **Heterococcales**

Семейство: **Pleurochloridaceae**

Botrydiopsis arhiza Borzi, Ch-форма

Семейство: **Sciadaceae**

Bumilleriopsis biverucca Pascher, X-форма

Класс: **Xanthotrichophyceae**

Порядок: **Tribonematales**

Семейство: **Heterotrichaceae**

Heterothrix tribonemoides Pascher, H-форма

Отдел: **Euglenophyta**

Класс: **Euglenophyceae**

Порядок: **Euglenales**

Семейство: **Euglenaceae**

Euglena mutabilis Schmitz., X-форма

Отдел: **Chlorophyta**

Класс: **Volvocophyceae**

Порядок: **Chlamydomonadales**

Семейство: **Chlamydomonadaceae**

Chlamydomonas sp., Ch-форма
Chlamydomonas gelatinosa Korschik., Ch-форма

Класс: **Protococcophyceae**

Порядок: **Chlorococcales**

Семейство: **Chlorococcaceae**

Chlorococcum infusionum (Schrack) Menegh., Ch-форма

Семейство: **Oocystaceae**

Chlorella vulgaris Beyer., Ch-форма

Семейство: **Coelastraceae**

Coelastrum astroideum var. *rugosum* (Rich) Sodomkova, Ch-форма
Coelastrum microporum Näg., Ch-форма

Семейство: **Ankistrodesmaceae**
Pseudococcomyxa simplex (Mainx) Fott, Ch-форма
Класс: **Ulothrichophyceae**
Порядок: **Ulotrichales**
Семейство: **Elakatothrichaceae**
Koliella longiseta (Vischer) Hindak (= *Raphidonema longiseta* Vischer), H-форма
K. sempervirens (Chod.) Hindak (= *Raphidonema sempervirens* Vischer), H-форма
Stichococcus bacillaris Näg., H-форма
St. minor Näg., H-форма
St. variabilis W. et G. S. West, H-форма
Семейство: **Ulothrichaceae**
Ulothrix subtilissima Rabenh. (= *U. subtilis* (Un.) Hansg.), H-форма
U. tenerrima Kütz., H-форма
U. variabilis Kütz., H-форма
Geminella terricola Boye-Pet.
Chlorhormidium flaccidum var. *nitens* Menegh. em Klebs (= *Hormidium nitens* (Menegh.) em Klebs), H-форма
Fottea cylindrica Hindak, H-форма
Класс: **Conjugatophyceae**
Порядок: **Desmidiaceae**
Семейство: **Desmidiaceae**
Cosmarium undulatum var. *minutum* Wittr., hydr-форма
Отдел: **Rhodophyta**
Класс: **Florideophyceae**
Порядок: **Nemaliales**
Семейство: **Batrachospermaceae**
Batrachospermum moniliforme Roth, H-форма

Таксономическая структура водорослей дерново-подзолистей песчаной почвы представлена в табл. 1.

Таблица 1

Таксономическая структура водорослей
дерново-подзолистей песчаной почвы за июль 2014 г.

Table 1

Taxonomic structure of algae of sod-podzolic sandy soil for July 2014

| Отдел | Класс | Порядок | Семейство | Род | Вид |
|-----------------|--------------------|-------------------|-----------|-----|-----|
| Cyanophyta | Chroococcophyceae | Chroococcales | 1 | 1 | 1 |
| | Hormogoniophyceae | Oscillatoriales | 1 | 3 | 6 |
| | | Nostocales | 2 | 3 | 3 |
| Bacillariophyta | Pennatophyceae | Raphales | 2 | 2 | 4 |
| Xanthophyta | Xanthococcophyceae | Heterococcales | 1 | 1 | 1 |
| Chlorophyta | Volvocophyceae | Chlamydomonadales | 1 | 1 | 1 |
| | Protococcophyceae | Chlorococcales | 1 | 1 | 1 |
| | Ulothrichophyceae | Ulotrichales | 2 | 4 | 6 |
| Rhodophyta | Florideophyceae | Nemaliales | 1 | 1 | 1 |

В формировании почвенной альгофлоры ведущую роль выполняют синезеленые водоросли (цианобактерии) (10 видов) и зеленые водоросли (8 видов), что составляет 75 % от общей численности. Долевое участие в альгофлоре диатомовых водорослей составило 17 % (4 вида), а красных и желтозеленых – по 4 % (по 1 виду). Окультивирование песчаной почвы на основе торфования и землевания сопровождается улучшением структурной организации альгофлоры, что проявляется в увеличении общей

численности видов зеленых и синезеленых водорослей с 8 до 12 (на 50 %), а также в появлении представителей диатомовых (2 вида) и желтозеленых водорослей (1 вид). При этом общая численность видов водорослей возрастает с 11 до 16 (табл. 2).

Таблица 2

Влияние окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы
на видовое богатство водорослей

Table 2

The influence of cultivation of sod-podzolic sandy soil
on the species richness of algae

| Вариант | Общая численность видов водорослей | Численность видов зеленых водорослей | Численность видов цианобактерий | Общая численность видов зеленых водорослей и цианобактерий | Доля зеленых водорослей и цианобактерий по отношению к контролю |
|---------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 2014 г. | | | | | |
| 1 | 11 | 4 | 4 | 8 | 100 |
| 2 | 14 | 6 | 5 | 11 | 125 |
| 3 | 16 | 5 | 7 | 12 | 150 |
| 4 | 14 | 5 | 7 | 12 | 150 |
| 5 | 14 | 4 | 6 | 10 | 125 |
| 2015 г. | | | | | |
| 1 | 14 | 6 | 6 | 12 | 100 |
| 2 | 22 | 10 | 6 | 16 | 133 |
| 3 | 21 | 10 | 7 | 17 | 142 |
| 4 | 21 | 9 | 8 | 17 | 142 |
| 5 | 23 | 11 | 5 | 16 | 133 |
| 2016 г. | | | | | |
| 1 | 12 | 5 | 4 | 9 | 100 |
| 2 | 18 | 10 | 7 | 17 | 189 |
| 3 | 19 | 8 | 8 | 16 | 178 |
| 4 | 19 | 9 | 6 | 15 | 167 |
| 5 | 20 | 9 | 7 | 16 | 178 |

Примечание. Вариант 1 – контроль. В вариантах 2–5 в почву вносили 200 т/га компоста, а также суглинок в количестве 100; 200; 300 или 400 т/га для вариантов 2, 3, 4 или 5 соответственно.

Анализ табл. 3 показывает, что и в 2015 г. ведущую роль в формировании альгофлоры песчаной почвы выполняют зеленые водоросли (37 %) и цианобактерии (33 %), а доля диатомовых и желтозеленых водорослей составляет 15 и 9 % соответственно.

Euglena mutabilis и *Batrachospermum moniliforme* являлись единственными представителями эвгленовых и красных водорослей соответственно. Важно отметить, что в контрольном варианте опыта альгофлора дерново-подзолистой песчаной почвы представлена только 14 видами водорослей, а под действием торфования и землевания этой почвы их разнообразие увеличилось до 23 видов (см. табл. 2). Следовательно, и в данном случае окультуривание песчаной почвы сопровождается улучшением структурной организации альгофлоры, главным образом за счет зеленых водорослей и цианобактерий, общая численность видов которых возросла с 12 до 17, или на 40 %. При этом биологическое разнообразие альгофлоры окультуренной песчаной почвы улучшалось также благодаря появлению 3 видов желтозеленых и 4 видов диатомовых водорослей.

Таблица 3

Таксономическая структура водорослей
дерново-подзолистой песчаной почвы в 2015 г.

Table 3

Taxonomic structure of algae of sod-podzolic sandy soil in 2015

| Отдел | Класс | Порядок | Семейство | Род | Вид |
|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|-----|-----|
| Cyanophyta | Chroococcophyceae | Chroococcales | 2 | 2 | 2 |
| | Hormogoniophyceae | Oscillatoriales | 1 | 2 | 6 |
| | | Nostocales | 3 | 3 | 3 |
| Bacillariophyta | Pennatophyceae | Raphales | 3 | 3 | 5 |
| Xanthophyta | Xanthococcophyceae | Heterococcales | 2 | 2 | 2 |
| | Xanthotrichophyceae | Tribonematales | 1 | 1 | 1 |
| Euglenophyta | Euglenophyceae | Euglenales | 1 | 1 | 1 |
| Chlorophyta | Volvocophyceae | Chlamydomonadales | 1 | 1 | 1 |
| | Protococcophyceae | Chlorococcales | 2 | 2 | 2 |
| | Ulotrichophyceae | Ulotrichales | 2 | 4 | 9 |
| Rhodophyta | Florideophyceae | Nemaliales | 1 | 1 | 1 |

Как видно из таксономической структуры в июле 2016 г. (табл. 4), зеленые водоросли включали 15 видов, а цианобактерии – 11 видов, что составляет 84 % альгофлоры песчаной почвы. Желтозеленые, эвгленовые и красные водоросли представлены единичными видами (*Botrydiopsis arhiza*, *Euglena mutabilis* и *Batrachospermum moniliforme* соответственно). А разнообразие диатомовых водорослей ограничено двумя видами, относящимися к порядку Raphales.

Таблица 4

Таксономическая структура водорослей
дерново-подзолистой песчаной почвы в июле 2016 г.

Table 4

Taxonomic structure of algae of sod-podzolic sandy soil for July 2016

| Отдел | Класс | Порядок | Семейство | Род | Вид |
|-----------------|----------------------|-------------------|-----------|-----|-----|
| Cyanophyta | Chroococcophyceae | Chroococcales | 2 | 2 | 2 |
| | Chamaesiphonophyceae | Dermocarpales | 1 | 1 | 1 |
| | Hormogoniophyceae | Oscillatoriales | 1 | 3 | 6 |
| | | Nostocales | 2 | 2 | 2 |
| Bacillariophyta | Pennatophyceae | Raphales | 2 | 2 | 2 |
| Xanthophyta | Xanthococcophyceae | Heterococcales | 1 | 1 | 1 |
| Euglenophyta | Euglenophyceae | Euglenales | 1 | 1 | 1 |
| Chlorophyta | Volvocophyceae | Chlamydomonadales | 1 | 1 | 1 |
| | Protococcophyceae | Chlorococcales | 4 | 4 | 5 |
| | Ulotrichophyceae | Ulotrichales | 2 | 5 | 8 |
| | Conjugatophyceae | Desmidiales | 1 | 1 | 1 |
| Rhodophyta | Florideophyceae | Nemaliales | 1 | 1 | 1 |

В контрольном варианте опыта альгофлора дерново-подзолистой песчаной почвы представлена 12 видами водорослей, в то время как в условиях окультуривания этой почвы количество видов возрастало до 20 (см. табл. 2). При этом общая численность видов зеленых водорослей и цианобактерий в окультуренной песчаной почве увеличивалась с 9 до 17, или на 90 %. Следует отметить, что наиболее низким видовым разнообразием цианобактерий выделялась неокультуренная дерново-подзолистая песчаная почва, где количество их видов не превышало 6. В условиях окультуривания этой почвы численность видов цианобактерий возрастала до 8, а богатство зеленых водорослей увеличивалось с 4–6 до 11 видов. Таким образом, улучшение биологического разнообразия альгофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях ее окультуривания под действием торфования и землевания обеспечивается за счет более активного развития зеленых водорослей и цианобактерий, видовое богатство которых возрастает на 40–90 %.

Распределение почвенных водорослей по экобиоморфам, или жизненным формам, характеризует экологические особенности водорослей независимо от их систематической принадлежности. Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, получим спектры жизненных форм (по годам):

| | |
|------|------------------------------------|
| 2014 | $H_7P_6B_4Ch_3Cf_3C_1$ |
| 2015 | $H_{11}P_6B_5Ch_5X_2C_1N_1Cf_1M_1$ |
| 2016 | $H_9Ch_8P_6B_2Cf_2C_2X_1hydr_1$ |

Большинство обнаруженных представителей альгофлоры – эдафотрофные водоросли (рис. 1). Участие гидрофильных водорослей в формировании альгогруппировок исследуемых участков незначительно (представлены одним видом – *Cosmarium undulatum* var. *minutum* Wittr.), амфибиальных водорослей не выявлено.

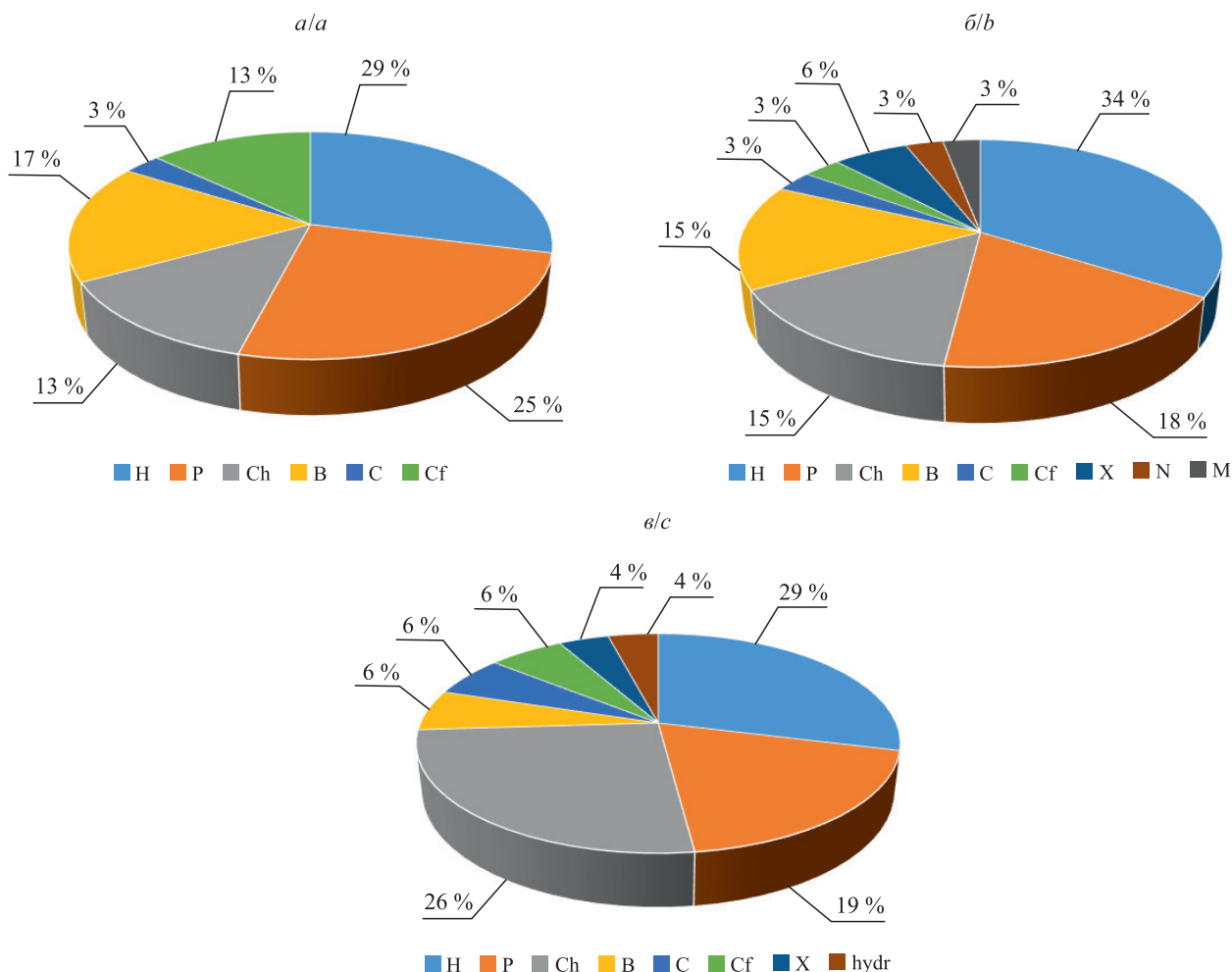


Рис. 1. Соотношение жизненных форм водорослей дерново-подзолистой песчаной почвы (по годам): а – 2014; б – 2015; в – 2016

Fig. 1. The ratio of the life forms of algae sod-podzolic sandy soil: а – 2014; б – 2015; в – 2016

Среди эдафических водорослей доминирующее положение на протяжении трех лет занимали представители Н-жизненной формы (29; 34 и 29 %). Далее по убывающей расположились Р-жизненная форма, а также Ch- и В-жизненные формы (13–26 %). Незначительным количеством видов представлены водоросли С- и Х-жизненных форм. В 2014 г. выявлено наименьшее разнообразие жизненных форм водорослей, что объясняется чрезвычайно засушливым летом, особенно в июле.

Наиболее высоким разнообразием жизненных форм водорослей отличается альгофлора окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы, где выявлено 4 представителя азотфиксирующих форм цианобактерий: *Nostoc punctiforme*, *Anabaena variabilis*, *Anabaena spiroides* f. *crassa* и *Cylindrospermum majus* (рис. 2). Эти виды присутствуют только в окультуренной песчаной почве, поэтому их можно использовать в качестве индикаторов при разработке биологических методов диагностики экологического состояния дерново-подзолистых песчаных почв в процессе их окультурирования.

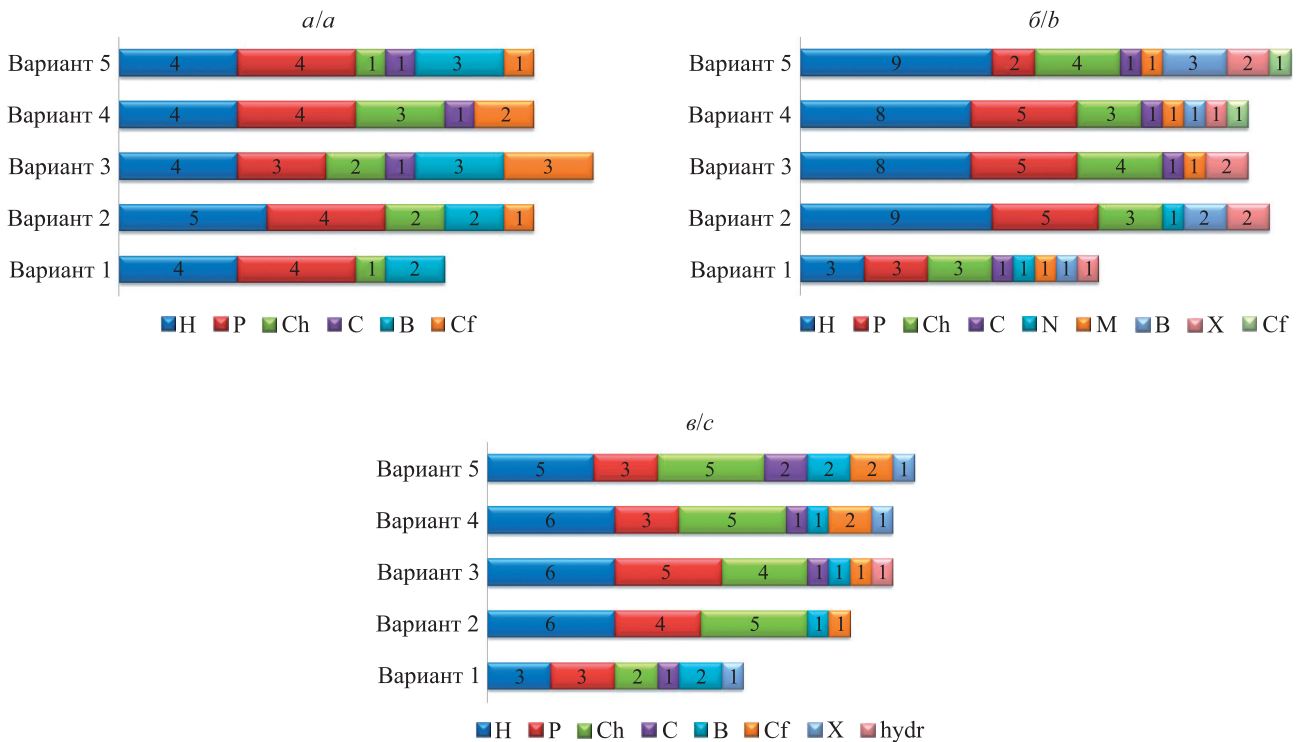


Рис. 2. Соотношение жизненных форм почвенных водорослей дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях ее окультурирования (по годам): а – 2014; б – 2015; в – 2016

Fig. 2. The ratio of the life forms of soil algae of sod-podzolic sandy soil in the conditions of its cultivation: а – 2014; б – 2015; в – 2016

Таким образом, в результате окультурирования дерново-подзолистой песчаной почвы путем торфования и землевания значительно улучшается экологическая структура альгофлоры, что выражается в увеличении разнообразия экобиоморфов водорослей, в том числе и за счет развития азотфиксирующих форм цианобактерий. Это имеет большое экологическое значение с точки зрения активизации биологических механизмов воспроизводства плодородия песчаной почвы в процессе ее окультурирования.

Данные, приведенные в табл. 1, 3 и 4, указывают на невысокое таксономическое разнообразие водорослей в дерново-подзолистой песчаной почве. Доминирующими по количеству видов являются порядки Ulotrichales, Oscillatoriales и Nostocales, входящие в отделы Cyanophyta и Chlorophyta. Красные и эвгленовые водоросли не играют заметной роли в формировании структуры альгофлоры, так как представлены одним видом.

В 2014 г. наибольшим видовым разнообразием водорослей характеризовался отдел Cyanophyta. Цианобактерии представлены 10 видами, которые относятся к 7 родам из 4 семейств, объединенных в 3 порядка. Среди цианобактерий преобладают водоросли порядка Oscillatoriales (60 %), а на долю порядка Nostocales приходится 30 %. Зеленые водоросли представлены 8 видами, объединяющими 6 родов, 4 семейства и 3 порядка, с преобладанием порядка Ulotrichales (75 %). Следует отметить, что в условиях окультурирования дерново-подзолистой песчаной почвы видовое разнообразие зеленых

водорослей возрастало главным образом за счет представителей порядка Ulotrichales, а в увеличении численности цианобактерий решающая роль принадлежала растениям порядков Oscillatoriales и Nostocales. Отделы Xanthophyta и Rhodophyta представлены каждый одним видом – *Botrydiopsis arhiza* и *Batrachospermum moniliforme* соответственно.

В 2015 г. среди зеленых водорослей, которые насчитывали 12 видов, численно преобладал порядок Ulotrichales (75 %), у цианобактерий (11 видов) на долю порядка Oscillatoriales приходилось 55 %, а долевого участия порядка Nostocales составило 27 %. Вклад эвгленовых и красных водорослей незначителен, присутствуют единичные представители. Диатомовые водоросли представлены одним порядком Raphales, включающим 2 вида.

В 2016 г. в составе цианобактерий (11 видов) также преобладал порядок Oscillatoriales (55 %), а в биоразнообразии зеленых водорослей определяющую роль играли порядки Ulotrichales (53 %) и Chlorococcales (33 %). Все виды водорослей порядка Oscillatoriales принадлежат к 1 семейству и 3 родам, а представители желтозеленых, эвгленовых и красных водорослей насчитывают по одному виду.

Таким образом, наибольшим видовым разнообразием водорослей в 2014 г. отличался отдел Cyanophyta, на долю которого приходилось 42 % видов (рис. 3). В 2015 и 2016 гг. в альгофлоре песчаной почвы преобладали зеленые водоросли, долевого участия которых составило 37–49 %. Удельный вес диатомовых водорослей в формировании альгофлоры песчаной почвы за весь период наблюдений колебался от 6 до 15–17 %. Красные водоросли представлены одним видом, долевого участия которого в альгофлоре составило от 3 до 5 %. Эвгленовые водоросли также представлены одним видом и выявлены только в 2015 и 2016 гг.

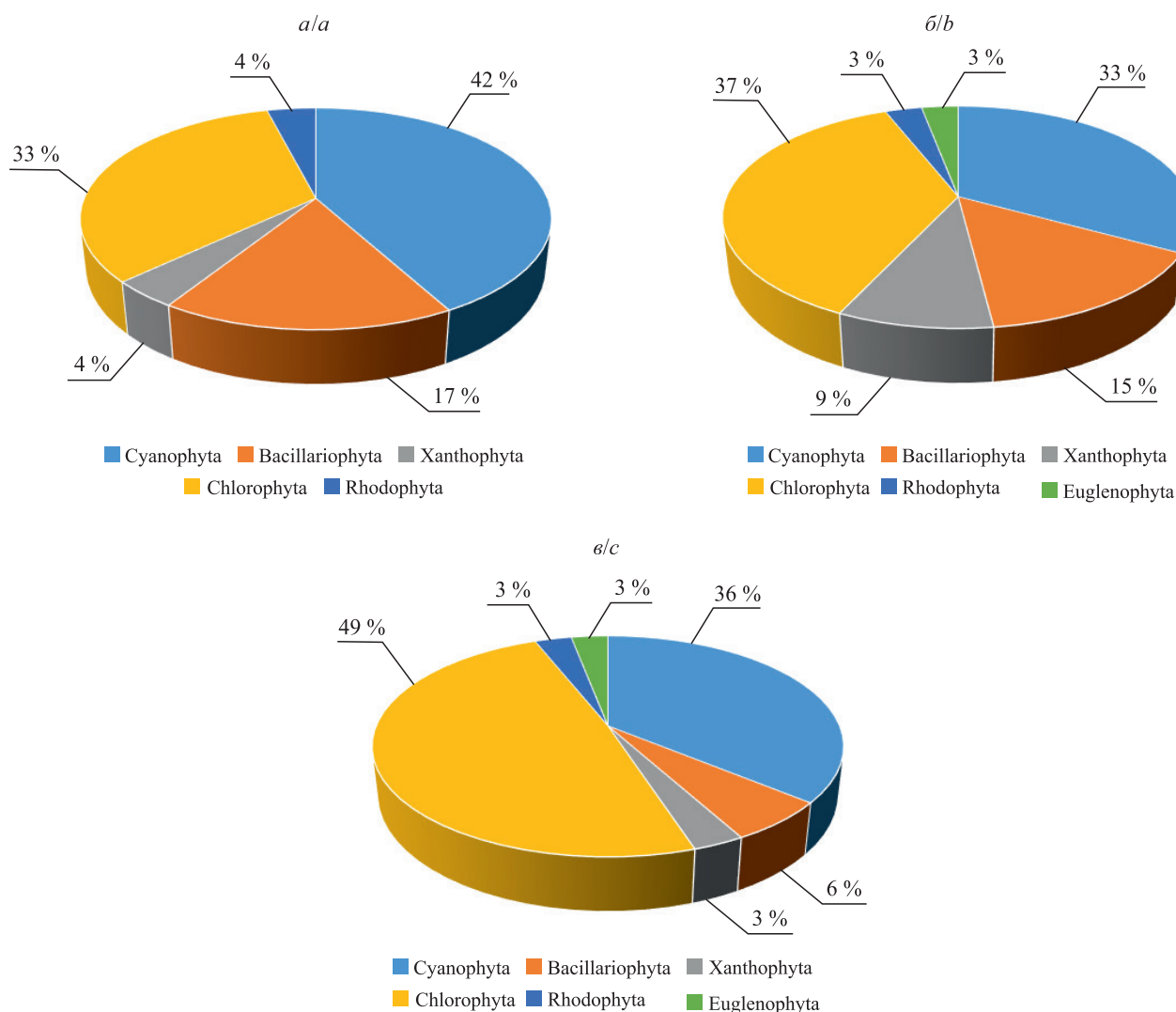


Рис. 3. Участие водорослей разных отделов в формировании видового богатства альгофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы (по годам): а – 2014; б – 2015; в – 2016

Fig. 3. The participation of algae of different departments of algae in the formation of the species richness of alga flora of sod-podzolic sandy soil: а – 2014; б – 2015; в – 2016

Окультуривание дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания сопровождается не только повышением видового разнообразия почвенных водорослей, но и усложнением их таксономической структуры (табл. 5). Например, в 2014 г. биоразнообразие альгофлоры дерново-подзолистой песчаной почвы в контрольном варианте опыта представлено 11 видами водорослей, относящимися к 4 отделам, 5 классам, 5 порядкам, 6 семействам и 7 родам. В результате окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы таксономическая структура альгофлоры значительно усложнилась и включала уже 5 отделов, 8 классов, 9 порядков, 11 семейств, 12 родов и 14 видов.

В 2015 г. выявленные в почве контрольного варианта 14 видов водорослей принадлежали к 4 отделам, 7 классам, 8 порядкам, 11 семействам и 12 родам. Торфование и землевание дерново-подзолистой песчаной почвы увеличило биоразнообразие альгофлоры до 23 видов, которые объединяли 6 отделов, 9 классов, 10 порядков, 15 семейств и 18 родов. Аналогичная закономерность в изменении таксономической структуры почвенных водорослей наблюдалась и в 2016 г.

Таблица 5

**Изменение таксономической структуры альгофлоры
дерново-подзолистой песчаной почвы в условиях ее окультуривания**

Table 5

**Changes in the taxonomic structure of algoflora
of sod-podzolic sandy soil under conditions of cultivation**

| Вариант* | Отдел | Класс | Порядок | Семейство | Род | Вид |
|----------|-------|-------|---------|-----------|-----|-----|
| 2014 г. | | | | | | |
| 1 | 4 | 5 | 5 | 6 | 7 | 11 |
| 2 | 4 | 6 | 7 | 9 | 11 | 14 |
| 3 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| 4 | 5 | 7 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 5 | 5 | 8 | 9 | 11 | 12 | 14 |
| 2015 г. | | | | | | |
| 1 | 4 | 7 | 8 | 11 | 12 | 14 |
| 2 | 6 | 9 | 10 | 12 | 15 | 22 |
| 3 | 5 | 8 | 9 | 12 | 15 | 21 |
| 4 | 5 | 8 | 9 | 12 | 15 | 21 |
| 5 | 6 | 9 | 10 | 15 | 18 | 23 |
| 2016 г. | | | | | | |
| 1 | 5 | 7 | 8 | 10 | 11 | 12 |
| 2 | 5 | 8 | 8 | 11 | 15 | 18 |
| 3 | 5 | 8 | 8 | 12 | 15 | 19 |
| 4 | 6 | 8 | 10 | 13 | 16 | 19 |
| 5 | 6 | 9 | 10 | 16 | 18 | 20 |

*См. примечание к табл. 2.

Как видно из табл. 6, флористический состав почвенных водорослей по вариантам опыта существенно отличался, о чем свидетельствуют показатели индекса Жаккара. Наименьшее флористическое сходство наблюдалось между 1-м и 2-м вариантами в 2016 г. и составило 15 %, а в 2014 и 2015 гг. наименьшее флористическое сходство отмечалось между 1-м и 4-м вариантами опыта (22 и 30 % соответственно). Следовательно, в условиях окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания формируется альгофлора, которая по своей структурной организации на 70–85 % отличается от альгофлоры исходной неокulturованной почвы.

Таблица 6

Флористическое сходство почвенных водорослей дерново-подзолистой
песчаной почвы в различных вариантах* опыта (по индексу Жаккара)

Table 6

Floristic similarity of soil algae of sod-podzolic sandy soil
in different experimental variants (according to the Jacquard index)

| 2014 г. | | | | | | 2015 г. | | | | | | 2016 г. | | | | | |
|---------|---------|----|----|----|---|---------|---------|----|----|----|---|---------|---------|----|----|----|---|
| Вариант | Вариант | | | | | Вариант | Вариант | | | | | Вариант | Вариант | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | |
| 2 | 57 | | | | | 2 | 44 | | | | | 2 | 15 | | | | |
| 3 | 33 | 36 | | | | 3 | 52 | 54 | | | | 3 | 35 | 32 | | | |
| 4 | 22 | 40 | 43 | | | 4 | 30 | 48 | 50 | | | 4 | 29 | 37 | 46 | | |
| 5 | 37 | 40 | 50 | 47 | | 5 | 42 | 45 | 63 | 57 | | 5 | 52 | 41 | 39 | 44 | |

*См. примечание к табл. 2.

Таким образом, в условиях окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания происходят значительное улучшение экологической и таксономической структуры альгофлоры и увеличение видового разнообразия водорослей. Это обеспечивает активизацию биологических механизмов воспроизводства плодородия дерново-подзолистой песчаной почвы и повышение ее экологической устойчивости.

Заключение

На исследованных участках дерново-подзолистой песчаной почвы выявлено 45 видов водорослей, принадлежащих в основном к 4 отделам: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta. В почве также встречаются единичные представители отделов Rhodophyta и Euglenophyta. Доминирующими по количеству видов являются порядки Ulotrichales, Oscillatoriales, Nostocales, относящиеся к отделам Chlorophyta и Cyanophyta. Большинство обнаруженных представителей альгофлоры – эдафотрофные водоросли. Участие гидрофильных водорослей в формировании альгогруппировок исследуемой почвы незначительно (представлено одним видом *Cosmarium undulatum* var. *minutum* Wittr.), амфибиальных водорослей не обнаружено.

В результате окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания численность видов водорослей увеличивается с 11 до 23. При этом наиболее активное развитие получают зеленые водоросли и цианобактерии, видовое богатство которых возрастает на 40–90 %. В улучшении видового разнообразия зеленых водорослей определяющая роль принадлежит представителям порядка Ulotrichales, а численность цианобактерий повышается главным образом за счет представителей порядков Oscillatoriales и Nostocales.

В условиях окультуривания также улучшается экологическая структура альгофлоры: увеличивается разнообразие экобиоморфов водорослей, происходит развитие азотфиксирующих форм цианобактерий. Это имеет большое экологическое значение с точки зрения активизации биологических механизмов воспроизводства плодородия почвы.

Процесс окультуривания дерново-подзолистой песчаной почвы на основе торфования и землевания обеспечивает формирование более сложной по своей таксономической структуре альгофлоры, которая в соответствии с индексом флористического сходства Жаккара на 70–85 % отличается от альгофлоры исходной неокulturенной почвы, что свидетельствует о повышении биологического разнообразия почвенных водорослей.

Присутствие в дерново-подзолистых песчаных почвах представителей азотфиксирующих форм цианобактерий *Nostoc punctiforme*, *Anabaena variabilis*, *Anabaena spiroides* f. *crassa* и *Cylindrospermum majus* можно использовать в качестве индикатора при разработке биологических методов диагностики экологического состояния этих почв в процессе их окультуривания.

Библиографические ссылки

1. Звягинцев ДГ, Бабьева ИП, Зенова ГМ. Биология почв. Москва: МГУ; 2005. 448 с.
2. Неходимова СЛ, Фомина НВ. Роль альгофлоры в экологической оценке антропогенно-преобразованных почв (обзорная статья). Вестник КрасГАУ. 2013;2:81–86.

3. Симакова МС. Некоторые проблемы классификации и диагностики почв России. *Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева*. 2016;82:88–109. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-88-109.
4. Благодатская ЕВ, Семенов МВ, Якушев АВ. *Активность и биомасса почвенных микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды*. Москва: Товарищество научных изданий «КМК»; 2016. 243 с.
5. Домрачева ЛИ. *«Цветение» почвы и закономерности его развития*. Сыктывкар: Коми научный центр Уральского отделения РАН; 2005. 336 с.
6. Кузяхметов ГГ. *Пространственная организация почвенных альгоценозов степи и лесостепи* [автореферат диссертации]. Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН; 2000. 37 с.
7. Безкоровайная ИН. *Биологическая диагностика и индикация почв: краткий курс лекций*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет; 2001. 43 с.
8. Кузяхметов ГГ, Дубовик ИЕ. *Методы изучения почвенных водорослей*. Уфа: Издательство Башкирского университета; 2001. 60 с.
9. Кондакова ЛВ. Альгоиндикационная характеристика минеральных гидроморфных почв. *Теоретическая и прикладная экология*. 2011;1:80–86.
10. Зенова ГМ, Штина ЭА. *Почвенные водоросли*. Москва: МГУ; 1990. 80 с.
11. Михеева ТМ. *Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог*. Минск: БГУ; 1999. 396 с.

References

1. Zvyagintsev DG, Babeva IP, Zenova GM. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 2005. 448 p. Russian.
2. Nekhodimova SL, Fomina NV. Algoflora role in the ecological assessment of the anthropogenic-transformed soils (review). *Vestnik KrasGAU*. 2013;2:81–86. Russian.
3. Simakova MS. Some problems in classification and diagnostics of soils in Russia. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2016;82:88–109. Russian. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-82-88-109.
4. Blagodatskaya EV, Semenov MV, Yakushev AV. *Aktivnost' i biomassa pochvennykh mikroorganizmov v izmenyayushchikhsya usloviyakh okruzhayushchei sredy* [The activity and biomass of soil microorganisms in changing environmental conditions]. Moscow: Tovarichestvo nauchnykh izdaniy «KMK»; 2016. 243 p. Russian.
5. Domracheva LI. *«Tsveteniye» pochvy i zakonomernosti ego razvitiya* [«Flowering» of the soil and the laws of its development]. Syktyvkar: Komi nauchnyi tsentr UrO RAN; 2005. 336 p. Russian.
6. Kuzyakhmetov GG. *Prostranstvennaya organizatsiya pochvennykh al'gotsenozov stepi i lesostepi* [Spatial organization of soil algal cenoses of the steppe and forest-steppe] [dissertation abstract]. Syktyvkar: Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2000. 37 p. Russian.
7. Bezkorovaynaya IN. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: kratkii kurs lektsii* [Biological diagnostics and indication of soils: a short course of lectures]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2001. 43 p. Russian.
8. Kuzyahmetov GG, Dubovik IE. *Metody izucheniya pochvennykh vodoroslei* [Methods of study of soil algae]. Ufa: Izdatel'stvo Bashkirskogo universiteta; 2001. 60 p. Russian.
9. Kondakova LV. Algoindication characteristics of mineral hydromorphic soils. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2011;1: 80–86. Russian.
10. Zenova GM, Shtina EA. *Pochvennye vodorosli* [Soil algae]. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1990. 80 p. Russian.
11. Mikheeva TM. *Al'goflora Belarusi. Taksonomicheskii katalog* [Algoflora of Belarus. Taxonomic catalog]. Minsk: Belarusian State University; 1999. 396 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 09.09.2019.
Received by editorial board 09.09.2019.