

На правах рукописи

ЗАРИПОВА ЛИЛИЯ ХАНИФОВНА

**БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВЕННОЙ ЦИАНОБАКТЕРИИ
CYLINDROSPERMUM MICHAÏLOVSKOËNSE (CYANOPROKARYOTA)**

Специальность 03.00.16 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Уфа – 2009

Работа выполнена на кафедре ботаники, биоэкологии и ландшафтного проектирования ГОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы»

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор Кабиров Рустэм Расхатович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор Хазиев Фангат Хаматович
кандидат биологических наук,
доцент Шмелёв Николай Александрович

Ведущая организация: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Защита диссертации состоится «13» февраля 2009 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Объединённого диссертационного совета ДМ 002.136.01 при Институте биологии Уфимского научного центра РАН по адресу: 450054, г. Уфа, Проспект Октября, 69. Тел. /факс (3472) 235-53-62. E-mail: ib@anrb.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии УНЦ РАН, с авторефератом – в сети интернет по адресу:

<http://www.anrb.ru/inbio/dissovet/index.htm>

Ученый секретарь
Объединённого диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент



Уразгильдин Р.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из основных задач современной экологии является разработка подходов к сохранению и рациональному использованию биологического разнообразия в условиях усиления антропогенного пресса. Избыточное содержание различных поллютантов (тяжёлых металлов, удобрений, гербицидов и др.), помимо непосредственного токсического эффекта и уничтожения существенной части флоры, приводит к загрязнению почвы, что нарушает внутриценотические связи и обуславливает сдвиг экологического равновесия в биосфере.

Цианобактерии составляют активную автотрофную часть микробиоты, связанную со сложными взаимодействиями, как со всеми ее гетеротрофными компонентами, так и собственно с почвой и высшими растениями, и принимают разнообразное участие в биологической жизни почв. Цианобактерии относительно просто культивируются, служат удобными объектами для исследования и могут быть использованы для биоиндикации (Кабиров, 1993, 1995; Штина и др., 1998; Патова и др., 2000; Киреева и др., 2003). В отличие от других представителей цианобактерий, гетероцистные формы способны к азотфиксации и играют важную роль в создании органического вещества (Штина, Голлербах, 1976; Halperin et al., 1992; Evans, 1994; Liengen, Olsen, 1997; Zaady et al., 1998). Цианобактерии реагируют на широкий спектр антропогенных воздействий и могут использоваться в качестве модельного объекта при изучении механизмов повреждающего действия экологических факторов на почвенные экосистемы.

Цель и задачи исследования. Целью исследований явилось изучение биологии и экологии почвенной цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoënsе* Elenk.(Cyanoprokaryota)

В соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

1. Провести морфометрический анализ вегетативных клеток, гетероцист и спор *Cylindrospermum michailovskoënsе* в лабораторных условиях.
2. Изучить влияние экологических факторов (температура, рН среды, засоление, тяжёлые металлы, гербициды, удобрения) на морфометрические показатели *C. michailovskoënsе*.
3. Выделить границы устойчивости *C. michailovskoënsе* к изученным экологическим факторам.

Научная новизна. Впервые в лабораторных экспериментах изучена биология и экология цианобактерии *C. michailovskoënsе*. Установлена степень устойчивости *C. michailovskoënsе* к ряду экологических факторов природного и антропогенного происхождения. Выявлен характер вариабельности морфологических признаков вегетативных клеток, гетероцист и спор как при длительном культивировании в лабораторных условиях, так и под действием исследованных экологических факторов. Установлены экологические границы сохранности морфологического статуса данного вида.

Практическая значимость работы. Полученные данные дополняют знания по биологии и экологии вида *C. michailovskoënsе*. Сведения о границах устойчивости к экологическим факторам природного и антропогенного проис-

хождения позволят использовать *S. michailovskoënsis* в биоиндикационных исследованиях. Результаты работы могут быть включены в лекционные и специальные курсы экологии, почвенной альгологии и систематики растений в высших учебных заведениях, а также в разработку методических рекомендаций по реализации экологического образования школьников в рамках предмета «Биология и экология».

Апробация. Основные положения диссертации докладывались на I Всероссийской научно-практической конференции «Альгологические исследования: современное состояние и перспективы на будущее» (Уфа, 2006), VIII Всероссийской научно-практической конференции «Наука и молодёжь» (Нижний Новгород, 2007), Всероссийской научно-практической конференции «Экологическое образование в целях устойчивого развития – 2» (Самара, 2007), VI Международной научной конференции «Экология и биология почв» (Ростов-на-Дону, 2007), VII Международной научно-практической конференции «Состояние биосферы и здоровье людей» (Пенза, 2007), Международной научно-технической конференции «Наука и Образование» (Мурманск, 2008), Международной конференции «Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 4» (Тольятти, 2008), Всероссийской школе-семинаре «Проблемы современной альгологии» (Уфа, 2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из которых 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК МОН РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы (405 наименований, в том числе 244 на русском, 161 на иностранных языках), 22 приложений. Общий объём работы составил 194 страниц, в том числе 150 страниц основного текста, 10 таблиц, 27 рисунков.

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЦИАНОБАКТЕРИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В главе обсуждаются основные характеристики цианобактерий, их азот-фиксирующей способности, вопросы биологии и экологии представителей рода *Cylindrospermum* и особенности их распространения в почвах (Голлербах, Штина, 1969; Шушуева, 1977; Кузяхметов, 1980; Алексахина, Штина, 1984; Панкратова, 1985; Перминова, 1990; Дубовик, 1995; Список..., 1998; Хайбуллина, 2006). Рассматривается диагноз вида *C. michailovskoëense*, приводятся данные его таксономии. Признавая современный статус цианобактерий с учётом номенклатурных изменений, рассмотрена номенклатура и классификация цианобактерий по И. Комарек и К. Анагностидис (Komarek, Anagnostidis, 1989, 1998, 1999, 2005), согласно которой цианобактерии рассматриваются в ранге класса Cyanophyceae в отделе Cyanoprokaryota.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объект исследований – *Cylindrospermum michailovskoëense*, выделен в 2005 г. из пойменной почвы около реки Большая Караганка (30 км. от п. Измайловский, Челябинская область) и переведён в музейную культуру. Культуру выращивали на косяках и чашках Петри с использованием жидкой и агаризованной питательной среды Чу – 10 (Chu, 1942). Измерения проводили методом прямого микроскопирования с помощью светового микроскопа серии Ломо Микмед-1 (объектив $\times 40$, апертура 0,65) при помощи окуляр-микрометра 510. Микрофотографии выполнялись с использованием фотоаппарата Canon A95 с фотонасадкой при увеличении 40 (апертура 0,65).

Для анализа морфологии *C. michailovskoëense* подсчитывали по 150 вегетативных клеток, гетероцист и спор (всего 450 измерений). Оценку проводили по 6 морфологическим параметрам: длина и ширина вегетативных клеток, гетероцист и спор. Линейные размеры клеток измеряли в микрометрах (мкм). При статистической обработке результатов исследований использовались средняя арифметическая, её ошибка, медиана, стандартное отклонение и значение коэффициента вариации (Плохинский, 1970; Лакин, 1990).

Изучали влияние температуры на морфологию цианобактерии *C. michailovskoëense* в диапазоне $+20^{\circ}$ – $+100^{\circ}\text{C}$ с интервалом в 10°C . Изучали влияние реакции среды в диапазоне от 2 до 12 с интервалом 0,5.

В качестве агентов засоления были выбраны хлоридное засоление (NaCl) и содово-карбонатное засоление (Na_2CO_3) как наиболее распространённые соединения в солончаках природного и антропогенного происхождения. NaCl испытывали в концентрациях – 2×10^{-1} ; $3,5 \times 10^{-1}$; 5×10^{-1} ; 7×10^{-1} ; 1; 1,5 моль/л; Na_2CO_3 в концентрациях – 5×10^{-4} , 1×10^{-3} , 5×10^{-3} , 1×10^{-2} , 5×10^{-2} моль/л. Контролем служила питательная среда.

Изучали влияние кадмия, свинца, меди, марганца и никеля на морфологические признаки цианобактерии *C. michailovskoëense*. Концентрации металлов выбирались на основании анализа литературных данных (Aroga, Gupta, 1983;

Wang, Wood, 1987; Bastien, Côte, 1989; Бингам и др., 1993; Фазлутдинова, 1999), а также по проведённым исследованиям Л. А. Гайсиной (2000). Медь, кадмий, свинец испытывали в концентрациях 1×10^{-10} – 1×10^{-2} моль/л, никель 1×10^{-6} – 1×10^{-1} , 1 моль/л, марганец - 1×10^{-4} – 1×10^{-1} , 1 моль/л. Металлы вносили в виде следующих солей: $\text{CuCl}_2 \times 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ безводный, $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Концентрацию солей рассчитывали по действующему веществу (иону соответствующего металла) в моль/л.

Гербициды нитран и триаллат испытывали в концентрациях 1×10^{-8} – 1×10^{-3} моль/л. Концентрации гербицидов выбирались на основании данных Л.А. Гайсиной (2000). Выбор гербицидов объясняется их частым использованием в сельском хозяйстве.

Изучали влияние хлорида калия, мочевины и суперфосфата на морфологические показатели *S. michailovskoënsе*. Выбор определялся тем, что эти удобрения часто используются в сельском хозяйстве. Удобрения испытывали в следующих концентрациях (моль/л действующего вещества): хлорид калия – 1×10^{-3} , 5×10^{-3} , 1×10^{-2} , 5×10^{-2} , 1×10^{-1} , 3×10^{-1} моль/л, мочевина – 2×10^{-3} , 8×10^{-3} ; 2×10^{-2} моль/л, 8×10^{-2} , 2×10^{-1} , 5×10^{-1} , 8×10^{-1} , 1,7 моль/л; суперфосфат – 4×10^{-5} , 2×10^{-4} ; 1×10^{-3} , 4×10^{-3} моль/л.

Для оценки уровня изменчивости на основании коэффициента вариации использовалась шкала А.С. Мамаева (1968), согласно которой выделяют 3 уровня изменчивости, отражающие разнообразие растительных организмов: 1) пониженный коэффициент вариации ($cv < 15\%$); 2) средний ($cv = 15-25\%$); 3) повышенный ($cv > 25\%$).

Достоверность результатов исследований определялась с помощью критерия Стьюдента (Урбах, 1963; Лакин, 1990). Статистическую обработку результатов проводили в программном продукте базового пакета Statistica 6.0 for Windows.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *CYLINDROSPERMUM* *MICHAILOVSKOËNSE*

Динамика развития *C. michailovskoënsе* на твёрдых и жидких питательных средах

При культивировании в жидкой среде *C. michailovskoënsе* образовывала тонкие нити бледно-зелёного цвета. При выращивании на агаре в чашках Петри колонии быстро разрастались по поверхности и имели нежный налёт с многочисленными сплетениями нитей ярко-изумрудного цвета. В световом микроскопе нити были прямыми, либо изогнутыми, расположены слоями, вегетативные клетки удлинённо-цилиндрические с хорошо заметными терминальными гетероцистами и широко удлинёнными спорами, которые образовывались из вегетативной клетки около гетероцист.

При старении культуры отмечалось образование зрелых спор с буроватой оболочкой, фрагментация нитей: если в молодой культуре большинство нитей были относительно длинными, изумрудно-зелёными, располагались концентрически, а гетероцисты были хорошо выражены, удлинённо-округлой формы, то в старой культуре клетки начинали терять свой цвет. В дальнейшем, наряду с этими нарушениями, отмечалось обесцвечивание протопласта, а через 2 месяца большинство клеток теряли целостность клеточной оболочки и разрушались. Гетероцисты при этом становились более светлыми, приобретали округлую форму, увеличивались в ширине.

3.1. Температура

Наиболее полная картина морфологических изменений под влиянием высоких температур наблюдалась на 14 день просмотра и в дальнейшем оставалась неизменной.

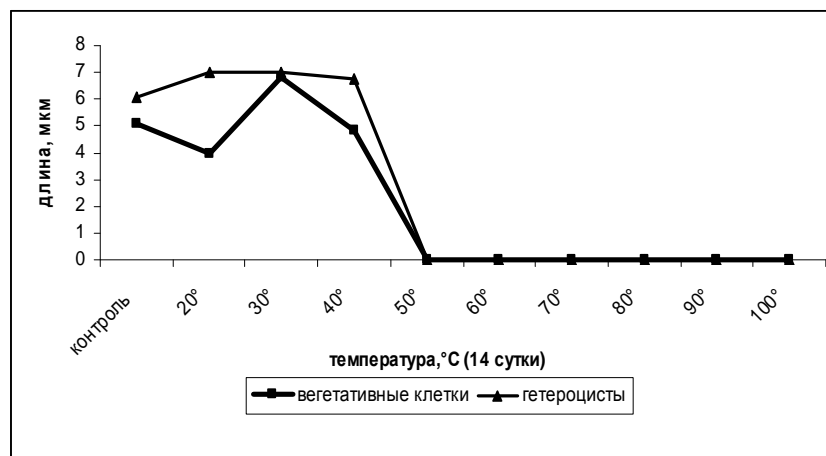


Рис. 1. Влияние высоких температур на морфометрические показатели *C. michailovskoense*

На 14 день просмотра при воздействии температур 20-30°C нарушений в структурах вегетативных клеток, гетероцист и спор не наблюдалось. При воз-

действии температуры 40°C наблюдали увеличение длины вегетативных клеток, гетероцист, при этом величина длины гетероцист была выше, чем в контрольном варианте. Нити культуры располагались концентрическими кругами, происходило образование спор. При температурах 50°C и выше происходило полное разрушение и гибель клеток (рис. 1).

3.2. Реакция среды

В кислых (диапазон от 2 – 3,5) и щелочных (диапазон от 10,5 – 12) значениях среды происходила деформация клеток и полное разрушение клеточного содержимого. В диапазоне рН 4 – 4,5 наблюдали преобладание вегетативных клеток с бледной окраской, частичную грануляцию цитоплазмы, образование молодых спор, удлинение клеток в длину. При рН от 5 до 6,5 нити слабо-зелёные, происходило увеличение гетероцист в ширину, образование множество зрелых спор с жёлто-бурой оболочкой, превышение длины клеток над шириной. В диапазоне рН от 7 до 7,5 клетки сохраняли морфологический статус. В щелочном диапазоне среды наблюдалось побледнение окраски вегетативных клеток при рН 8 – 8,5, превышение ширины клеток над длиной, удлинение гетероцист. При рН=9 – 9,5 происходила фрагментация нитей, клетки укорачивались, встречались оторванные гетероцисты, полушарообразной формы, оболочка спор приобретала жёлто-бурую окраску. При рН=10 в клетках происходило обесцвечивание цитоплазмы, массовое развитие спор.

В целом, кислая реакция среды отрицательно влияла на морфологическое состояние подавляющего большинства клеток цианобактерии, особенно вблизи крайних показателей. Серьезные повреждения протопластов (побледнение окраски и лизис) при низких значениях рН, могут быть обусловлены денатурацией белков и ферментов, ответственных за фотосинтетическую активность клеток.

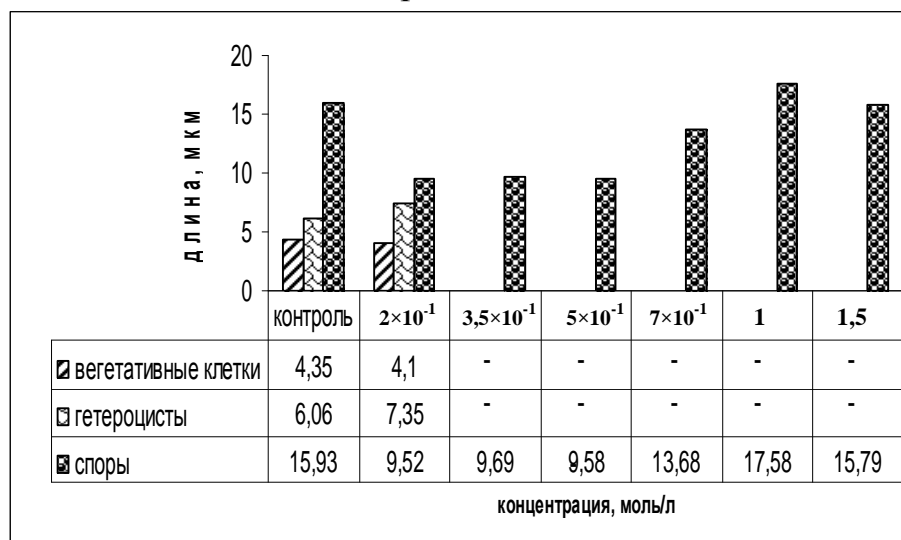
Вегетативные клетки *Cylindrospermum michailovskoënsе* в диапазонах рН 4-5,5 и при рН 6,5; 7,5-10, имели тенденцию к снижению своих размеров относительно контроля. Гетероцисты в тех же амплитудах рН, наоборот, стремились к их увеличению.

С помощью проведённых экспериментов было выявлено, что морфологический статус вида сохраняется в интервале 7-7,5 значений реакции среды. Споры же оставались живыми во всех исследованных значениях реакции среды.

3.3. Засоление

Концентрации $1,0-7 \times 10^{-1}$ моль/л NaCl вызывали сильные морфологические нарушения. Наблюдалось гранулированность цитоплазмы, обесцвечивание и полное разрушение клеток. При концентрации 2×10^{-1} моль/л происходило изменение формы вегетативных клеток, гетероцист (рис.2). При внесении Na_2CO_3 в концентрации 5×10^{-2} моль/л приводили к обесцвечиванию и разрушению целостности клеток, гетероцист. При концентрации соли 1×10^{-2} моль/л наблюдалось лизис клеток. С повышением концентрации Na_2CO_3 вегетативные клетки приобретали удлинённую, а гетероцисты полушарообразную формы. Концен-

трации 5×10^{-4} моль/л и ниже не вызывало видимых морфологических нарушений как вегетативных клеток так и гетероцист.



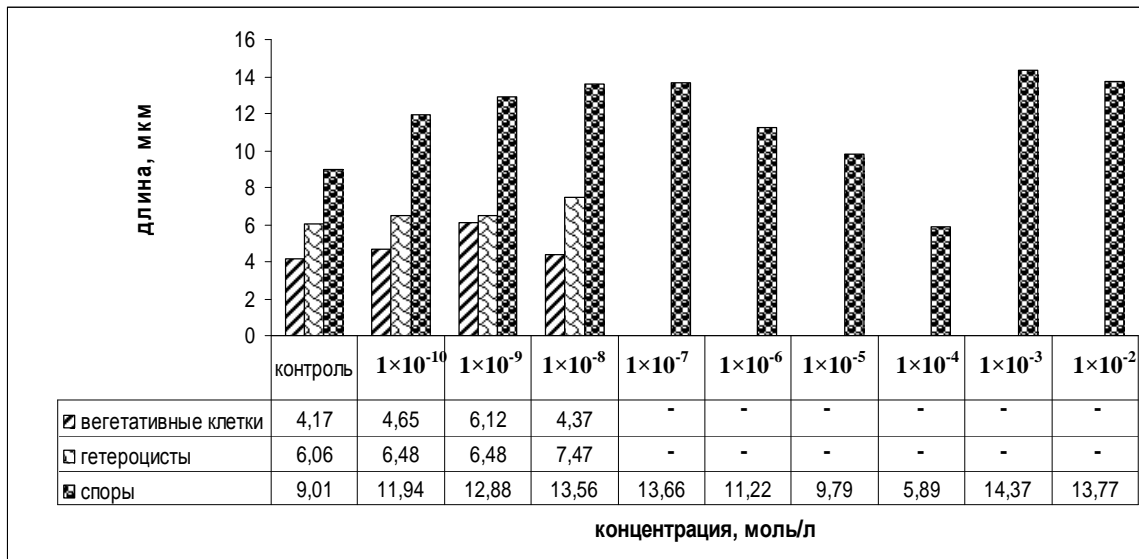
Примечание: «-» – клетки погибли

Рис. 2. Влияние хлорида натрия на морфометрические показатели *C. michailovskoënsis*

Исследования показали, что для цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoënsis* наиболее токсичным оказался NaCl. Характер воздействия на морфологические признаки солей различался: если NaCl оказывал большее влияние на длину и ширину спор, то Na_2CO_3 – на ширину клеток, гетероцист, длину и ширину спор. При внесении NaCl быстрее погибали гетероцисты, при высоких концентрациях Na_2CO_3 погибали вегетативные клетки.

3.4. Тяжёлые металлы

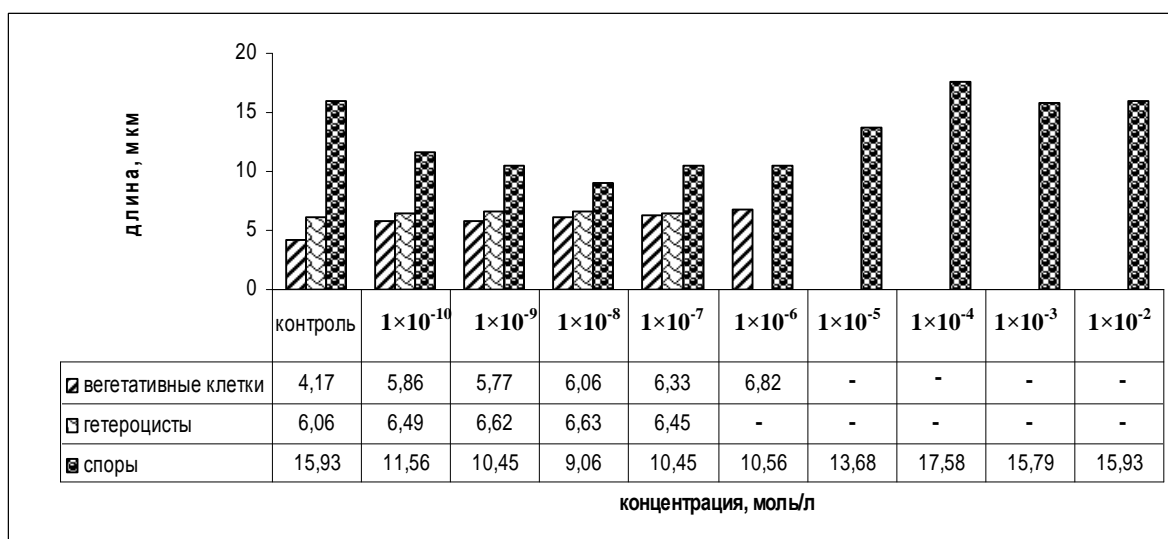
Кадмий в концентрациях 1×10^{-7} – 10^{-2} моль/л вызывал полное разрушение и гибель вегетативных клеток, гетероцист. Клетки при этом становились бесформенными, «сжато-квадратными». Споры были увеличены в длину и покрыты ярко выраженной жёлто-бурой оболочкой. При концентрации 1×10^{-8} моль/л наблюдали аномальное образование спор: на терминальной клетке происходило образование двух спор из 4-х первых клеток, также наблюдали изменение первых начальных 3-х вегетативных клеток (клетки утолщались в ширине, стенка увеличивалась в размерах); некоторые споры приобретали удлинённо-эллипсоидную форму. При концентрации металла 1×10^{-7} – 10^{-6} моль/л наблюдалось гранулированность цитоплазмы, клетки становились бесформенными, гетероцисты были оторваны, разбросаны; с ростом концентрации число гранулированных клеток возрастало: если при концентрации 1×10^{-7} моль/л грануляции были подвержены 10-20 % клеток, то при концентрации 1×10^{-6} моль/л их число возрастало до 50-60%. Концентрации кадмия 1×10^{-10} – 10^{-9} моль/л не оказывали влияния на форму клеток и состояние цитоплазмы. При внесении кадмия наблюдалось увеличение длины клеток, при этом с ростом концентрации токсиканта гетероцисты увеличивались в длину, приобретая округло-расширенную форму (рис. 3).



Примечание: обозначения такие же, как и на рисунке 2.

Рис. 3. Влияние кадмия на длину вегетативных клеток, гетероцист и спор *C. michailovskoënsе*

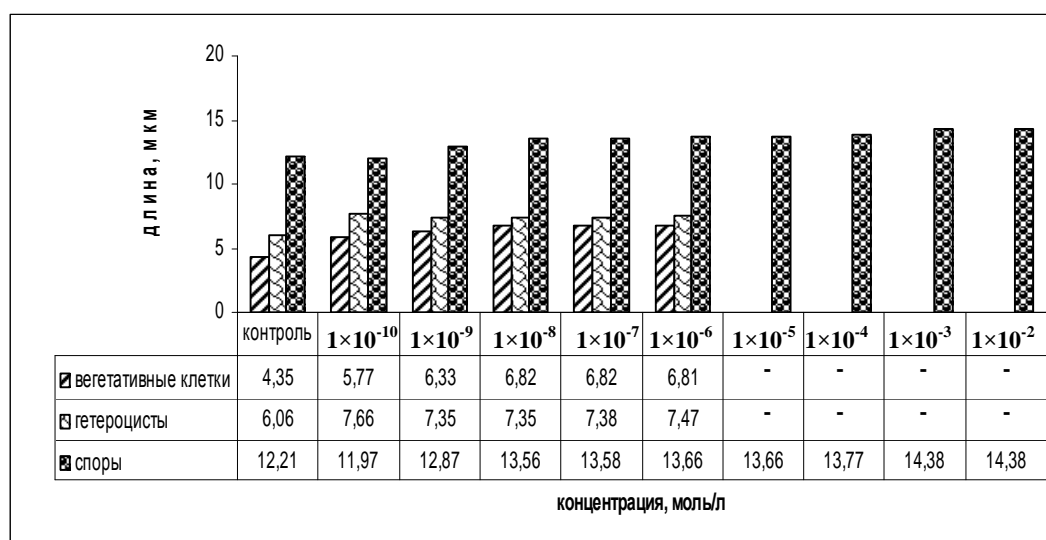
Медь в концентрациях $1 \times 10^{-5} - 10^{-2}$ моль/л вызывал обесцвечивание и лизис вегетативных клеток, гетероцист. При концентрации $1 \times 10^{-7} - 10^{-6}$ моль/л наблюдалась гранулированность цитоплазмы, клетки утрачивали свой цвет. Гетероцисты при концентрации $1 \times 10^{-8} - 10^{-7}$ увеличивались в ширину, приобретая округлую форму, а при концентрации 1×10^{-6} моль/л – погибли. Концентрации меди $1 \times 10^{-10} - 10^{-9}$ моль/л не оказывали влияния на форму клеток и состояние цитоплазмы. С уменьшением концентрации происходило увеличение ширины вегетативных клеток. При высоких концентрациях споры увеличивались в длину (рис. 4).



Примечание: обозначения такие же, как и на рисунке 2.

Рис. 4. Влияние меди на морфометрические признаки *C. michailovskoënsе*

При концентрациях свинца 1×10^{-5} - 10^{-2} моль/л происходило обесцвечивание и разрушение вегетативных клеток, гетероцист. При концентрации 1×10^{-6} моль/л клетки постепенно утрачивали свой цвет, в 10-20% клеток наблюдали гранулированность цитоплазмы, нити приобретали изогнутую форму. Гетероцисты увеличивались в ширину, некоторые отделялись от трихомов. При концентрациях 1×10^{-10} - 10^{-8} моль/л морфологические изменения вегетативных клеток, гетероцист, спор в сторону нарушений не наблюдалось. При концентрации 1×10^{-7} моль/л вегетативные клетки, гетероцисты увеличивались в длину, при этом происходило образование зрелых спор с плотной жёлто-бурой оболочкой (рис. 5).



Примечание: обозначения такие же, как и на рисунке 2.

Рис. 5. Влияние свинца на морфометрические показатели *S. michailovskoense*

При концентрации никеля, равной 1 моль/л, наблюдались полностью разрушенные клетки, концентрация 1×10^{-2} моль/л вызывала нарушение формы, выражающееся в появлении бочонкообразных клеток. Концентрации 1×10^{-5} моль/л (для вегетативных клеток, гетероцист) и 1×10^{-4} - 10^{-3} моль/л (для спор) не оказали морфологических изменений формы клеток. Металл в концентрации 1×10^{-3} моль/л вызывал грануляцию и удлинение вегетативных клеток, гетероцист. Внесение никеля приводило к увеличению длины вегетативных клеток в концентрациях 1×10^{-6} и 1×10^{-4} моль/л. При концентрации 1×10^{-4} моль/л происходило расширение вегетативных клеток, у гетероцист – удлинение формы. Споры при этих концентрациях уменьшались в длине.

Марганец в концентрации 1×10^{-1} -1 моль/л вызывал разрушение клеток, гетероцист. Марганец в концентрации 1×10^{-3} моль/л вызывал нарушение формы, выражающееся в появлении эллипсоидных клеток. При концентрации марганца 1×10^{-4} моль/л происходило развитие спор. Металл в концентрации 1×10^{-3} моль/л приводил к укорачиванию вегетативных клеток, гетероцист. Ширина вегетативных клеток, гетероцист увеличивалась в концентрации 1×10^{-2} моль/л. При высоких концентрациях наблюдалось увеличение ширины спор. Концен-

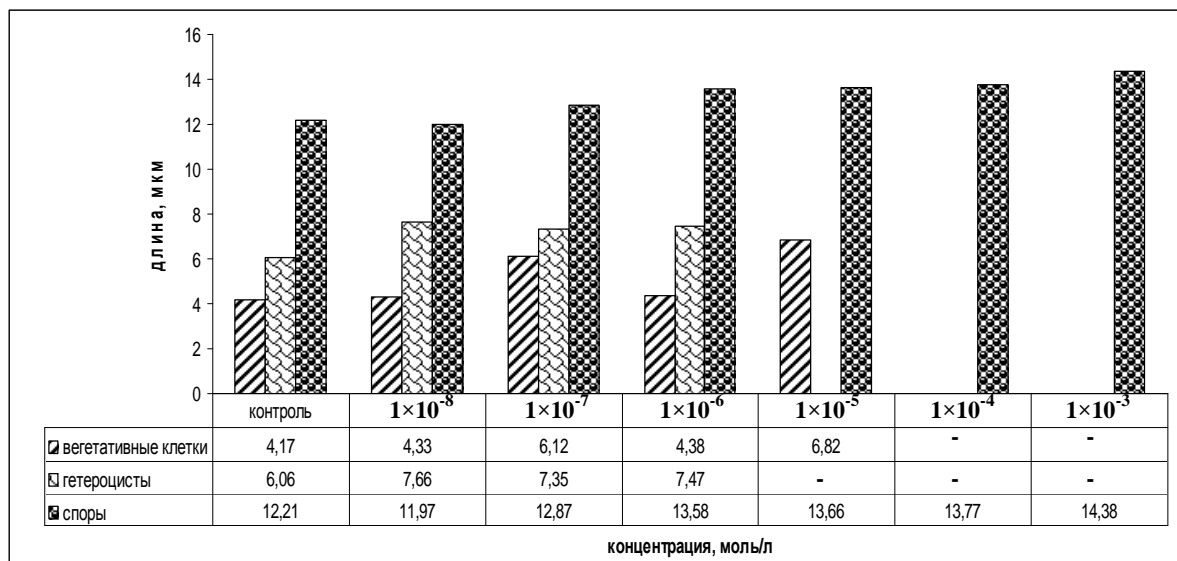
трации 1×10^{-4} моль/л (для вегетативных клеток и гетероцист) и 1×10^{-3} моль/л (для спор) не влияли на морфологическое состояние *S. michailovskoënsе*.

Наибольшее воздействие металлы оказывали на длину вегетативных клеток, гетероцист, длину и ширину спор.

В целом, по степени влияния на морфометрические характеристики и выживаемость как вегетативных клеток, гетероцист так и спор исследованных металлов можно расположить в следующей последовательности: Cd>Cu>Pb>Ni>Mn.

3.5. Гербициды

Исследования показали, что для *S. michailovskoënsе* нитран оказался токсичнее триаллата. Видимые признаки гибели вегетативных клеток цианобактерии отмечались при концентрации 1×10^{-4} - 10^{-3} моль/л гербицидов и выражались в гранулированности цитоплазмы, обесцвечивании и полном разрушении клеток. Признаки гибели гетероцист отмечались в концентрации 1×10^{-5} - 10^{-3} моль/л при внесении нитрана и в концентрации 1×10^{-4} - 10^{-3} моль/л при внесении триаллата. Не удалось установить гибели спор при воздействии гербицидов в испытанных концентрациях. Характер изменчивости морфологических признаков были индивидуальными для каждого гербицида (рис. 6).



Примечание: «-» – клетки погибли

Рис. 6. Влияние нитрана на морфометрические показатели *S. michailovskoënsе*

3.6. Удобрения

Был установлен ряд токсичности испытанных удобрений: суперфосфат > хлорид калия > мочеви́на. Суперфосфат в концентрации 2×10^{-4} моль/л приводил к увеличению ширины вегетативных клеток *S. michailovskoënsе*. При концентрации 1×10^{-3} моль/л гетероцисты погибли. С возрастанием концентрации препаратов вегетативные клетки обесцвечивались, наблюдалась грануляция цитоплазмы, при этом споры увеличивались в длину. При концентрациях 4×10^{-5}

моль/л для вегетативных клеток, 2×10^{-4} моль/л для гетероцист и спор морфологических изменений в сторону нарушений не наблюдалось.

Хлорид калия в концентрациях 5×10^{-2} моль/л и более приводил к гибели вегетативных клеток и гетероцист *S. michailovskoënsе*. При более низких концентрациях (5×10^{-3} моль/л) отмечалось появление бесформенных и эллипсоидных клеток. При концентрациях хлорида калия 1×10^{-2} моль/л наблюдалось постепенное разрушение гетероцист: они были разбросаны и оторваны от вегетативных клеток. Споры цианобактерии выдерживали концентрации 3×10^{-1} моль/л хлорида калия. Внесение высоких, но переносимых (пермиссивных) концентраций хлорида калия вызывало удлинение вегетативных клеток *S. michailovskoënsе*.

Концентрации мочевины 2×10^{-1} и более моль/л приводили к гибели вегетативных клеток цианобактерии. При более низких концентрациях удобрения (2×10^{-2} , 8×10^{-2} моль/л) для клеток была характерна гранулированность цитоплазмы, изогнутость и укорачивание. При концентрации 8×10^{-3} моль/л происходило постепенное изменение окраски вегетативных клеток (от изумрудно-зеленоватой в светло-зелёную), при этом гетероцисты приобретали округлую форму.

ГЛАВА 4. ГРАНИЦЫ УСТОЙЧИВОСТИ *S. MICHAILOVSKOËNSE* К ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

На градиенте любого экологического фактора распространение вида ограничено пределами толерантности. Между этими пределами есть отрезок (экологический оптимум), на котором условия для конкретного вида наиболее благоприятны и потому формируются самая большая биомасса и высокая плотность популяции (Миркин, Наумова, 2005).

При обобщении полученных результатов нами была построена лепестковая диаграмма, где по осям ординат откладывали десятичные логарифмические (lg) значения концентрации данного вещества, которые не вызывали морфологических нарушений вегетативных клеток, гетероцист и спор (рис. 7).

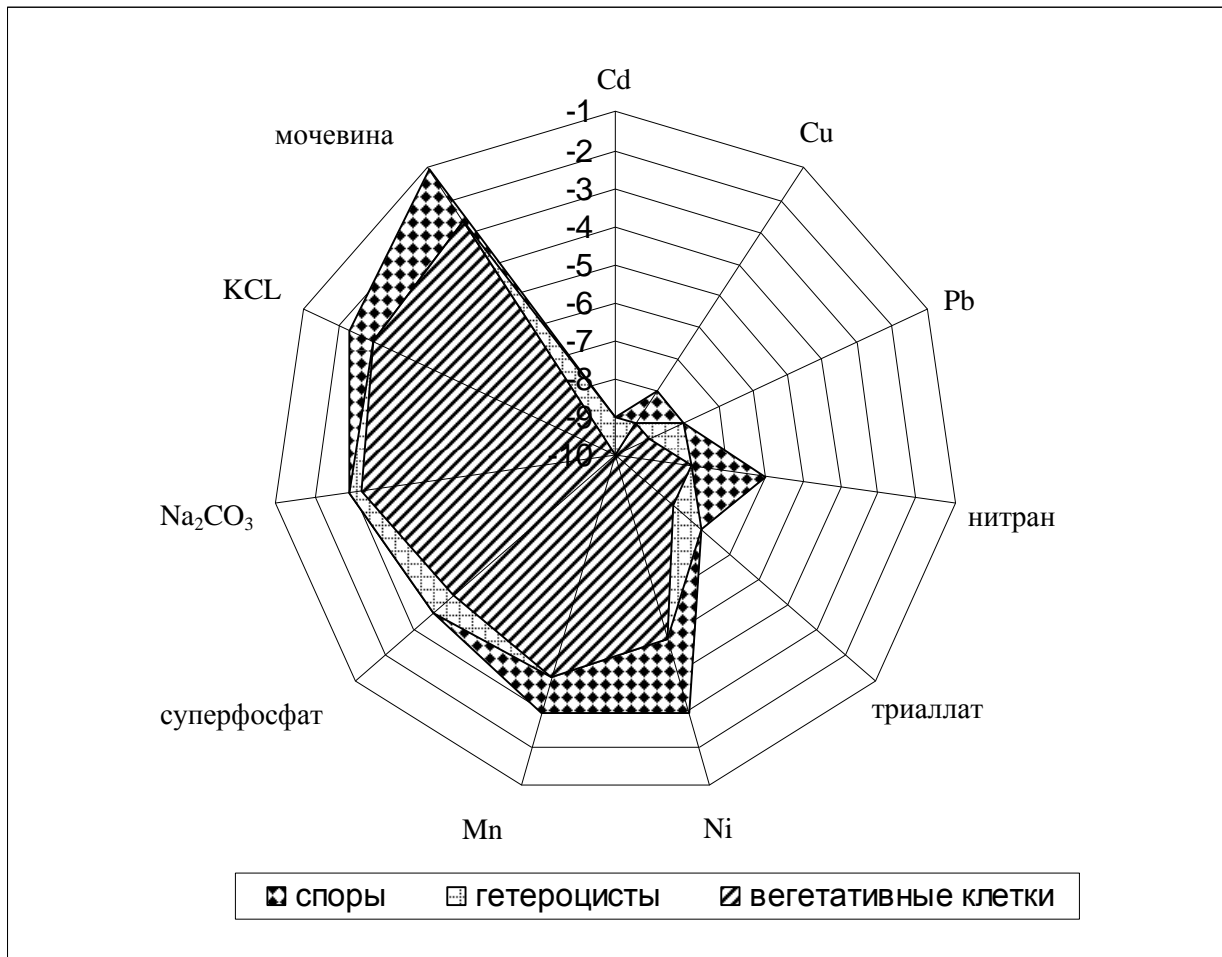


Рис. 7. Влияние различных концентраций засоления, тяжёлых металлов, удобрения и гербицидов на сохранение морфологического статуса клеток *C. michailovskoënsе*

Как видно из рис. 7, границы устойчивости вегетативных клеток и гетероцист практически совпадают. Споры оказались более устойчивыми ко всем экологическим факторам. Конфигурация зон выживаемости вегетативных клеток, гетероцист и спор одинаковы. Это свидетельствует о том, что данные элементы в строении нитей *C. michailovskoënsе* сходным образом реагируют на воздействие изученных факторов и различаются лишь в том, что одни клетки менее устойчивы, другие – более устойчивы к данным факторам.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные в лабораторных условиях исследования морфометрических показателей вегетативных клеток, гетероцист и спор цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoënsе* выявили, что пределы колебаний размеров вегетативных клеток, гетероцист и спор у *Cylindrospermum michailovskoënsе*, выделенной из пойменной почвы на территории Челябинской области оказались выше, чем они указаны в современных определителях для данного вида. Длина вегетативных клеток и спор была меньше, а ширина вегетативных клеток и спор оказалась несколько больше, чем это указано в определителях. В тоже

время по всем остальным параметрам выделенный вид соответствовал диагнозу вида *Cylindrospermum michailovskoënsе*, описанному в определителях.

2. Морфологический статус вида сохранялся при внесении тяжелых металлов: кадмия в концентрациях 1×10^{-10} и ниже, меди - 1×10^{-9} и ниже, свинца - 1×10^{-9} и ниже, никеля 1×10^{-5} и ниже, марганца - 1×10^{-4} моль/л и ниже.

3. При исследовании токсичности гербицидов и удобрений оказалось, что морфологический статус вида сохранялся при внесении нитрана и триаллата в концентрациях 1×10^{-8} моль/л и ниже; мочевины в концентрациях 2×10^{-3} моль/л и ниже, хлорида калия в концентрациях 1×10^{-3} моль/л и ниже суперфосфата - 4×10^{-5} моль/л и ниже не оказывали влияния на морфологический статус *Cylindrospermum michailovskoënsе*.

4. При засолении Na_2CO_3 морфологический статус вида сохранялся при концентрации 5×10^{-4} моль/л и ниже. В результате культивирования при температуре 40°C и выше наблюдалось массовое спорообразование. Температура в интервале $20\text{-}30^\circ\text{C}$ и значение рН при 7-7,5 не вызывали морфологических нарушений вегетативных клеток, гетероцист и спор данного вида.

5. Границы устойчивости вегетативных клеток и гетероцист к изученным экологическим факторам оказались значительно уже, чем у спор и практически совпадали. Споры оказались более устойчивыми к исследованным экологическим факторам.

6. Знание биологии и экологии почвенной цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoënsе* позволяет использовать его для проведения работ по экологическому мониторингу.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.), Гайсина Л.А Влияние гербицидов на морфологию почвенной азотфиксирующей синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk.(Cyanobacteria) // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № 75. – С. 13-16.

2. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.), Кабиров Р.Р. Влияние тяжёлых металлов на морфологию цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoense* // Проблемы региональной экологии. – 2008. – №2. – С. 86-90.

3. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Географическое распространение видов рода *Cylindrospermum* (Cyanophyta) // Альгологические исследования: современное состояние и перспективы на будущее. Материалы I Всеросс. науч.-практич. конф. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2006. – С. 8-9.

4. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Возможности применения альтотестирования в школьной программе изучения предмета « Биология и Экология» // Экологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы регион. науч.-практич. конф. (20-21 марта 2007г.). – Елец, 2007. – С. 171-173.

5. Кокорина Л.В. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Возможности использования методов биотестирования в школьной программе изучения предмета « Биология и Экология» // Экологическое образование в целях устойчивого раз-

вития – 2. Материалы Всеросс. науч.-практич. конф. (10-12 апреля 2007г.). – Самара, 2007. – С. 42-44.

6. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Возможности использования синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk. (Cyanophyta) для биоиндикации почвы // Общие проблемы мониторинга природных экосистем. Материалы Всеросс. науч.-практич. конф. (май 2007г.). – Пенза, 2007. – С 4-7.

7. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Возможности использования синезелёных водорослей при закислении почвы // Наука и молодёжь. Материалы VIII Всеросс. науч.-практич. конф. (24 мая, 2007г.). – Нижний Новгород, 2007. – Т. 1. – С. 116-117.

8. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Влияние кислотности на развитие синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk. (Cyanophyta) // Тез. докл. науч.-практич. конф. «Хартия Земли» (5-6 июня 2007 г). // Журнал Экологии и промышленной безопасности (Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии). – Казань, 2007. – №3. – С. 51-52.

9. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Влияние засоления на морфометрические характеристики азотфиксирующей нитчатой синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk. (Cyanophyta) // Экология и биология почв. Материалы VI Междунар. научной конф. (октябрь, 2007г.). – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 3-6.

10. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Морфологическая изменчивость почвенной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk. (Cyanophyta) в условиях засоления // Состояние биосферы и здоровье людей. Сб. статей VII Междунар. науч.-практич. конф. – Пенза, 2007. – С. 11-14.

11. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Влияние гербицидов на морфометрические признаки почвенной азотфиксирующей синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk.(Cyanobacteria) // Вестник развития науки и образования. – Москва: Наука, 2007. – №6. – С.11-15.

12. Абузарова Л.Х (Зарипова Л.Х.) Роль низших растений в поддержании стабильности наземных экосистем в условиях техногенного стресса // Экология и безопасность жизнедеятельности Сб. статей VII Междунар. науч.-практич. конф. – Пенза, 2007. – С. 4-5.

13. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.), Кабиров Р.Р. Изучение реакции цианобактерий на действие различных удобрений // Наука и образование – 2008. Материалы Междунар. научно-технич. конф. (2 – 10 апреля 2008г.). – Мурманск, 2008. – С. 335-338.

14. Абузарова Л.Х (Зарипова Л.Х.) Возможности использования почвенной азотфиксирующей синезелёной водоросли *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk.(Cyanobacteria) при засолении почвы //Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан: Тез. докл. VII респуб. научной конф. (5-6 декабря 2007г.). – Казань: Отечество, 2007. – С. 5.

15. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Реакция цианобактерии *Cylindrospermum michailovskoense* на воздействия тяжёлыми металлами // Экологические проблемы бассейнов крупных рек-4. Тез. докл. Междунар. конф. (15-19 сентября 2008г.). – Тольятти, 2008. – С. 1.

16. Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Сафиуллина Л.М., Пурина Е.С., Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.), Кокорина Л.В., Мухаметова Г.М., Бакиева Г.Р. Влияние экстремальных экологических факторов на почвенные водоросли // Материалы Всероссийской конференции XII съезда Русского ботанического общества (22-27 сентября 2008г., Петрозаводск). – Петрозаводск, 2008. – Ч.2. – С.23-26.

17. Абузарова Л.Х. (Зарипова Л.Х.) Гайсина Л.А., Сафиуллина Л.М., Бакиева Г.Р. Морфологические изменения *Cylindrospermum michailovskoënsе* (Суанопрокарыота) при воздействии минеральных удобрений // Вестник Одесского нац. ун-та, серия «Биология», 8-10 октября 2008г.) – Одесса, 2008. – Т.13. – Вып. 4. – С. 55-60.

18. Бакиева Г.Р., Мельников А.С., Зарипова Л.Х. Первые сведения о почвенных водорослях Башкирского Государственного Природного Заповедника (Южный Урал) // Материалы Всероссийской школы-семинара «Проблемы современной альгологии» (7-9 октября 2008г.). – Уфа, 2008. – С. 12-14.