

На правах рукописи

ИЛЮШЕНКО Алина Евгеньевна

ГРУППИРОВКИ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ
СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В РЕЖИМЕ
РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

03.00.05 – «Ботаника»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук



Новосибирск – 2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена на кафедре ботаники и экологии Новосибирского государственного педагогического университета.

Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор
Пивоварова Жанна Филипповна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, старший научный
сотрудник Науменко Юрий Витальевич

доктор биологических наук, старший научный
сотрудник Артамонова Валентина Сергеевна

Ведущая организация: Башкирский государственный университет

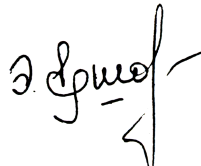
Защита состоится «_____» _____ 2003 г. в _____ часов на заседании
диссертационного совета Д 003.058.01 при Центральном сибирском
ботаническом саду СО РАН по адресу: ул. Золотодолинская, 101,
г. Новосибирск-90, 630090.

Факс: (3832)301-986

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Центрального
сибирского ботанического сада СО РАН.

Автореферат разослан «_____» _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Э. А. Ершова

Актуальность темы. Леса находятся под влиянием сильных рекреационных нагрузок (Рысин, 1993), которые являются причиной дигрессии всех компонентов экосистемы, в том числе и почвенных водорослей. В связи с этим возрастает необходимость всестороннего изучения этих низших организмов. Для выявления роли водорослей в поддержании стабильности лесов важными, но малоразработанными являются вопросы, касающиеся взаимоотношения водорослей как внутри синузии, так и отдельных синузий в пределах фитоценоза (Новичкова-Иванова, 1980). Слабая изученность этих вопросов не позволяет во всей полноте отразить структурно-функциональную организацию водорослевых группировок. Вместе с тем изучение изменения структурно-функциональной организации водорослевых группировок в лесных фитоценозах как отклик на рекреационные нарушения является необходимым условием для выявления общих тенденций антропогенной трансформации природных экосистем.

Цель исследования. Выявить особенности фитоценотической организации группировок почвенных водорослей как показатель степени нарушенности основных фитоценозов рекреацией.

Задачи исследования.

1. Определить видовой состав почвенных водорослей сосновых фитоценозов.
2. Выделить методом межвидовой сопряженности альгокомплексы сосновых фитоценозов, нарушенных рекреацией.
3. Выяснить факторы, определяющие межвидовые ассоциированности и структуру альгокомплексов сосновых фитоценозов разной степени рекреационной нагрузки.
4. Проследить тенденции изменений пространственно-ценотической организации альгокомплексов сосновых фитоценозов как отклик на рекреационные нарушения.

Защищаемые положения.

1. Эволюционно сопряженная биоэкологическая группа водорослей, определяющая состояние альгосинузий сосновых фитоценозов в пространстве и во времени, позволяет ее считать альгокомплексом.
2. Пространственно-ценотическая организация альгокомплексов сосновых фитоценозов изменяется от «индивидуализирующей дисперсии» до «агрегирующей», что является ответной реакцией водорослей на рекреационные нарушения.

Научная новизна. Видовой состав почвенных водорослей (193 вида или 208 видов и внутривидовых таксонов) сосновых фитоценозов пополнил банк биоразнообразия Сибирского региона. Впервые применен геоботанический метод межвидовых сопряженностей, на основании которого выделено 28 альгокомплексов, служащих диагностическим показателем степени рекреационной нагрузки на сосновые фитоценозы. Выяснено, что

ценотические взаимодействия определяют межвидовую ассоциированность водорослевых группировок при относительно слабой нарушенности сосновых фитоценозов, а экологические свойства среды – при высокой степени нарушенности. Показано, что с увеличением рекреационной нагрузки происходит преобразование альгокомплексов: изменяется характер взаимоотношений между видами и внутривидовыми таксонами водорослей от «индивидуализирующей дисперсии» до «агрегирующей», что соответствует яркому проявлению адаптированности водорослей к экстремальным условиям среды.

Практическая значимость работы. Выделенные альгокомплексы могут служить начальным (по сравнению с высшими растениями) индикаторным признаком при экологическом мониторинге изменений почвенной среды, происходящих под влиянием интенсивных рекреационных нагрузок. Полученные данные могут быть также использованы в качестве одного из показателей допустимых нагрузок для определения границ устойчивого состояния коренных фитоценозов. Применение материалов диссертации возможно в курсах систематики низших растений, экологии, почвенной альгологии в высших учебных заведениях.

Апробация. Основные положения диссертации доложены на научно-практических конференциях в Новосибирском государственном педагогическом университете (1998, 1999), на III Южно-Сибирской региональной и IV Южно-Сибирской международных конференциях «Экология Южной Сибири – 2000 год» в г. Абакане (1999, 2000), на III Международной конференции «Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока», посвященной памяти Л.М. Черепнина в г. Красноярске (2001), на молодежной конференции «Исследования молодых ботаников Сибири» и Международном совещании «Проблемы охраны растительного мира Сибири» в г. Новосибирске (2001), на конференции молодых ученых СО РАН, посвященной М.А. Лаврентьеву в ИЦиГ в г. Новосибирске (2002). По теме диссертации опубликовано 10 работ, из которых 2 в реферируемом журнале.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы (193 наименований, в том числе 177 на русском, 16 на иностранных языках) и приложения. Текст диссертации изложен на 165 страницах, рисунков 25, таблиц 43. В приложении помещен список видов и внутривидовых таксонов водорослей, выявленных в исследованных сосновых фитоценозах.

ГЛАВА 1. ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ (Литературный обзор)

К настоящему времени имеются обширные сведения о водорослях в почвах естественных и нарушенных лесных фитоценозов Европейской части бывшего СССР (Алексашина, Штина, 1984; Кузяхметов, 1991; Костиков, 1991).

На этом фоне Сибирский регион исследован незначительно. Что касается г. Новосибирска и его окрестностей, то такие работы единичны (Андросова, 1964; Артамонова, 1982, 1985; Пивоварова, Чумачева, 2001). В связи с этим необходимо изучение почвенных водорослей в качестве получения диагностической информации для оценки и прогноза рекреационных трансформаций лесов.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования почвенных водорослей проведены с 1998 по 2001 г. в Приобском лесорастительном районе, который охватывает часть лесостепной зоны в пределах Приобского плато правобережья реки Оби (Таран, 1985). Были исследованы почвы сосновых фитоценозов на территориях Белоярского лесничества Дубровинского лесхоза Новосибирской области, станции «Сеятель» Советского района и «Инюшенского бора» Октябрьского района г. Новосибирска, представляющих разную степень рекреационной нагрузки (рис. 1).

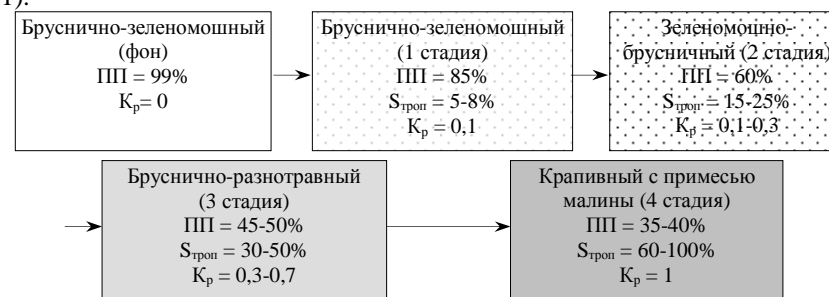


Рис. 1. Основные показатели степени нарушенности сосновых фитоценозов рекреацией: ПП – проективное покрытие растений; $S_{трон}$ – площадь тропинойной сети; K_p – коэффициент рекреации (по Тарану, 1985)

Материалом для исследований послужили 520 усредненных почвенных образцов, состоящих из 10 индивидуальных проб объемом 5 см^3 каждый. Пробы отбирались в подстилке и из слоя 0-5 см по трем вегетационным сезонам (май, июль, сентябрь) с соблюдением правил стерильности.

Культивирование вели классическим почвенно-альгологическим методом чашечных культур со «стеклами обрастания» (Lund, 1945). Почву увлажняли средой Кнопа. Культуры выращивали в установке «Флора-1» при освещении люминесцентными лампами (ЛБ-40) 10 часов в сутки при $t=24-26^\circ\text{C}$. Просмотр начинали через 14-18 дней культивирования и проводили в течение 3-5 месяцев. Использована 15-балльная шкала обилия (Кабилов, Шилова, 1990).

Для выяснения систематического состава и структуры альгофлоры исследуемых сосновых фитоценозов использованы количественные показатели флористики (Голмачев, 1974, 1986; Красноборов, 1976). Сравнение флор проведено с помощью мер включения (Семкин, Комарова, 1977), которые отражают связи в случае заведомо неравновеликих флор (Седелников, 1982).

Фитоценотический анализ альгогруппировок сосновых фитоценозов выполнен с помощью метода межвидовых сопряженностей (Cole, 1957; Миркин, Денисова, 1969). В качестве дополнительного метода, позволяющего вскрывать причины, вызывающие межвидовые сопряженности, а, следовательно, объяснять структуру водорослевых группировок, использован метод парциальных сопряженностей (Василевич, 1969). Выделение сочетания положительно сопряженных видов водорослей в определенные группы – «корреляционные плеяды» (по П.В. Терентьеву, 1960), именуемые нами как альгокомплексы, осуществляется в виде дендритов, построенных по минимальному корреляционному пути (Ястребов, 1991).

Для выполнения работы использовалась программа расчета коэффициентов межвидовой сопряженности 4^х-польной матрицы для массива данных, составленная деканом факультета прикладной математики и информатики Новосибирского государственного технического университета, д.т.н., проф. Б.Ю. Лемешко. Графическое построение плеяд осуществлено ст. преподавателем кафедры инженерной графики НГТУ П.В. Илюшенко, которым автор выражает искреннюю благодарность.

ГЛАВА 3. ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУППИРОВОК ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ФОНОВОГО СОСНОВОГО ФИТОЦЕНОЗА

Бруснично-зеленомошный сосновый фитоценоз занимает равнинные места с достаточно кислыми (рН=4,8-5,4) подзолистыми почвами. Древесный ярус представлен *Pinus sylvestris* со степенью сомкнутости крон 0,5. Разновозрастной подрост сосны до 7 м. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium vitis-idaea* L., *Lycopodium clavatum* L. Основными строителями моховых синузид являются *Dicranum undulatum* Ehrh. ex Web. et Mohr и *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt, занимающие 70-80% поверхности. Имеется вкрапление лишайников *Cladina rangiferina* (L.) Harm., *C. arbuscula* (Wallr.) Hale et W. Culb. Подстилка «пружинящая», высотой 12-16 см. На основании данной характеристики лес можно принять за фоновый.

Из 133 видов и внутривидовых таксонов водорослей (Суан₂₂Вас₁Хант₂₂Слог₈₈), обнаруженных в подстилке и почве сосняка бруснично-зеленомошного, более 66% от общей флоры приходится на зеленые водоросли, что соответствует зональному типу. В обработку сопряженностей выбрано только от 16 до 21 достоверно значимых вида и внутривидовых таксона, встречаемость которых выше 16%. Рассчитан 1631 коэффициент сопряженности, из которых 401 достоверных положительных связей и 601 отрицательных (P=0,05). Наличие достоверно значимых связей между видами и внутривидовыми таксонами водорослей позволяет выделить не только альгосинузии, но и альгокомплексы. Под **альгокомплексом** будем понимать естественную эволюционно сопряженную биоэкологическую группу видов и внутривидовых таксонов водорослей в пределах определенного фитоценоза. С

помощью альгокомплекса можно раскрыть механизмы пространственного размещения последних в отдельных альгосинузиях и в фитоценозе в целом.

В почве фонового фитоценоза выделен хламидомонадово-неоспонгиококково-коккомиксовый комплекс, объединяющий 21 вид и внутривидовой таксон. Преобладание зеленых теневыносливых водорослей мезоморфной природы и наличие водорослей амфибионтной природы в спектре жизненных форм (X₇Ch₆C₅H₁amph₂) свидетельствуют о благоприятных условиях среды, созданных высшими растениями. Функциональную организованность комплекса обеспечивают также водоросли-доминанты (табл. 1). Особенно это характерно для *Chlamydomonas gloeogama* и *Coccomyxa confluens* (степень связи при обилии обоих +0,83).

Таблица 1

Качественно-количественная сопряженность между доминантными видами водорослей в слое 0-5 см сосняка бруснично-зеленомошного (фон)

Виды водорослей	Chlamydomonas gloeogama		Chlamydomonas intermedia		Neosporangiococcum alabamense		Coccomyxa confluens	
	об.*	ед.**	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.
Chlamydomonas gloeogama	об. xxx	ед. xxx	+0,36	-0,1	+0,36	-0,44	+0,83	-1
	ед. xxx	ед. xxx	+0,1	+0,22	+0,1	+0,28	-0,64	+0,57

Примечание: * - обильно, ** - единично.

Доминанты обеспечивают «ценотический подбор» сопутствующих видов (табл. 2). К примеру, комфортность амфибионтного *Botryochloris simplex* в большей степени зависит от видов р. *Chlamydomonas* (степень связи от +0,36 до +0,71), которые способны образовывать обильную слизь и удерживать некоторое количество воды. В целом доминанты оказывают «коллективное воздействие» на подбор сопутствующих видов, т.к. в 23 случаях из 36 (в условиях обильно) не прослеживается строгой специфичности.

Таблица 2

Корреляционные связи доминантных и некоторых сопутствующих видов водорослей в слое 0-5 см сосняка бруснично-зеленомошного (фон)

Сопутствующие виды	Доминанты							
	Neosporangiococcum alabamense		Coccomyxa confluens		Chlamydomonas gloeogama		Chlamydomonas intermedia	
	об.*	ед.**	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.
Tetracystis dissociata	+0,57	-0,25	+0,11	-0,08	-0,25	+0,52	+0,36	-0,2
Botryochloris simplex	+0,14	+0,14	+0,33	+0,22	+0,36	+0,28	+0,71	-0,25
Microcystis grevillei	+0,06	-0,25	+0,5	-0,08	+0,44	-0,18	+0,06	-0,43

Примечание: * - обильно, ** - единично.

Следовательно, межвидовые отношения выступают как фактор диффузного размещения («индивидуализирующая дисперсия») водорослей в хламидомонадово-неоспонгиококково-коккомиксовом почвенном комплексе сосняка бруснично-зеленомошного, что соответствует зональному типу леса. Аналогичная тенденция наблюдается и в подстилке этого фитоценоза.

ГЛАВА 4. ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУППИРОВОК ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ПРИ ИХ НАРУШЕНИИ РЕКРЕАЦИЕЙ

В альгогруппировках рекреационно нарушенных фитоценозов зарегистрировано 180 видов и внутривидовых таксонов водорослей. Число выбранных видов и внутривидовых таксонов в альгокомплексе составляло от 9 до 27. Рассчитано 1259 коэффициентов сопряженности, из которых 342 достоверных положительных связей и 500 отрицательных (при $P=0,05$).

4.1. Альгокомплексы сосновых фитоценозов, находящихся на начальных этапах рекреационной нагрузки (1, 2 стадии)

Из 115 видов и внутривидовых таксонов водорослей, обнаруженных в бруснично-зеленомошном и 75 – в зеленомошно-брусничном сосновых фитоценозах, являющихся вариантами малой и средней нарушенности фонового бора, выделены почвенные тетрацистисо-неоспонгиококково-коккомиксовый (рис. 2) и тетрацистисо-коккомиксово-неоспонгиококковый комплексы соответственно.

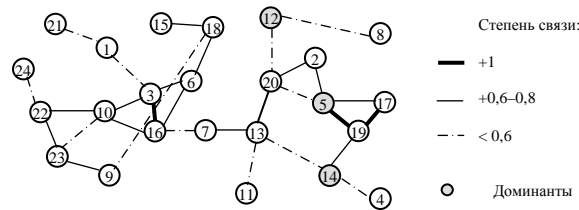


Рис. 2. Устойчивые положительные сопряженности видов и внутривидовых таксонов водорослей тетрацистисо-неоспонгиококково-коккомиксового комплекса в слое 0-5 см сосняка бруснично-зеленомошного (1 стадия). Лето 2000.

1 – *Chlamydomonas gloeogama*; 2 – *Ch. intermedia*; 3 – *Chlorococcum infusionum*; 4 – *Macrochloris dissecta*; 5 – *Neosporangium alabamense*; 6 – *Pseudodictyochloris multinucleata*; 7 – *Parietochloris cohaerens*; 8 – *P. pseudoalveolaris*; 9 – *Sporogochloris typica*; 10 – *Trochisciopsis insignis*; 11 – *Myrmecia bisecta*; 12 – *Coccomyxa confluens*; 13 – *Choricystis chodatii*; 14 – *Tetracystis dissociata*; 15 – *Chlorosarcinopsis eremi*; 16 – *Ch. minor*; 17 – *Chlorohormidium flaccidum* var. *nitens*; 18 – *Ch. flaccidum* var. *flaccidum*; 19 – *Ch. flaccidum* var. *tumidum*; 20 – *Stichococcus bacillaris*; 21 – *Pleurastrum terrestre*; 22 – *Pleurochloris magna*; 23 – *Botryochloris cumulata*; 24 – *Microcystis grevillei*

Тетрацистисо-неоспонгиококково-коккомиксовый комплекс включает 24 вида и внутривидовых таксона, из которых зеленые составляют более 87%. В спектре жизненных форм ($X_9Ch_7H_4C_3amph_1$) преобладают водоросли мезоморфной природы. Однако уже на 2-й стадии дигрессии в тетрацистисо-коккомиксово-неоспонгиококковом комплексе наблюдается уменьшение видового разнообразия водорослей более чем в 1,7 раз и некоторое упрощение биологической структуры ($X_5Ch_4C_3$) по сравнению с альгокомплексами бруснично-зеленомошных сосновых фитоценозов (фон, 1 стадия).

В доминантный состав альгокомплексов сосновых фитоценозов (1, 2 стадии) входят характерные для лесов колониально-коккоидные морфотипы, имеющие положительное взаимовлияние друг на друга (табл. 3).

Таблица 3
 Качественно-количественная сопряженность между доминантными видами водорослей в слое 0–5 см сосняка бруснично-зеленомошного (1 стадия)

Виды водорослей	<i>Tetracystis dissociata</i>		<i>Neosporangium alabamense</i>		<i>Coccomyxa confluens</i>		
	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.	
<i>Tetracystis dissociata</i>	об.	XXX	XXX	+0,5	+0,05	+0,38	-1
	ед.	XXX	XXX	+0,1	+0,29	+0,06	+0,17
<i>Neosporangium alabamense</i>	об.	+0,5	+0,1	XXX	XXX	+0,5	-1
	ед.	+0,05	+0,29	XXX	XXX	-0,44	+0,07

Поведенческая стратегия *Tetracystis dissociata* и *Neosporangium alabamense* направлена на защиту организмов от конкуренции, вследствие обитания в сходных экологических условиях ($pH=5,4-5,8$; влажность почвы 74%), так как оба вида принадлежат к коккоидному морфотипу и X-форме. Эти виды водорослей имеют положительное взаимовлияние (степень связи при обилии обоих +0,5) до момента исчерпания ресурсов питания (табл.3).

Средообразующая роль водорослей-доминантов в сосняке бруснично-зеленомошном (1 стадия) по данным качественно-количественного анализа и парциальных сопряженностей не вызывает сомнения. В 84 случаях из 138 доминанты оказывают влияние на сопутствующие виды.

Подобный «ценотический подбор» сопутствующих видов доминантами особенно наглядно виден после исключения с площадки последних (табл. 4). К примеру, при удалении *Tetracystis dissociata* в парах *Macrochloris dissecta* – *Choricystis chodatii* и *Parietochloris cohaerens* – *Choricystis chodatii* парциальная сопряженность уменьшается по сравнению с полной (даже до –1). Аналогичная ситуация происходит при удалении *Neosporangium alabamense* в паре *Chlamydomonas intermedia* – *Stichococcus bacillaris* (с +0,71 до –1).

Таблица 4
 Коэффициенты полной и парциальной сопряженности между некоторыми парами видов водорослей в слое 0-5 см сосняка бруснично-зеленомошного (1 стадия)

Пары видов	Коэффициенты полной сопряженности	Парциальные сопряженности, исключая		
		<i>Tetracystis dissociata</i>	<i>Neosporangium alabamense</i>	<i>Coccomyxa confluens</i>
<i>Chlamydomonas intermedia</i> – <i>Stichococcus bacillaris</i>	+0,71	+0,61	-1	+0,4
<i>Macrochloris dissecta</i> – <i>Choricystis chodatii</i>	+0,26	-1	-1	+0,33
<i>Parietochloris cohaerens</i> – <i>Choricystis chodatii</i>	+0,61	-1	+0,33	+0,33

Таким образом, в почвенных альгокомплексах наблюдается уменьшение общего числа видов и внутривидовых таксонов более чем в 1,7 раз. Тем не менее, преобладание зеленых водорослей мезоморфной природы и функциональная организованность альгокомплексов свидетельствуют о незначительном нарушении этих фитоценозов, которые еще пока соответствуют естественным лесам.

4.2. Альгокомплексы сосняка бруснично-разнотравного, находящегося на промежуточном этапе рекреационной нагрузки (3 стадия)

Из 80 видов и внутривидовых таксонов водорослей, обнаруженных в сосняке бруснично-разнотравном, выделен почвенный ханцшиеве-хлорхормидиево-гетеротрико-хлорококковый комплекс (рис. 3). Наблюдается тенденция увеличения видового и внутривидового разнообразия до 27 за счет диатомовых водорослей. Откликом перестройки биологической структуры ($Ch_{10}X_7C_5H_3B_2$) является лидирование водорослей-убиквистов, отличающихся выносливостью к неблагоприятным факторам среды. В результате вытаптывания ($S_{троп}=30-50\%$) водоросли мезоморфной природы с первой позиции предыдущих альгокомплексов отходят на 2-е место. Аналогичные тенденции отмечены в подстилочном коккомиксово-стихококково-ханцшиевом комплексе этого фитоценоза.

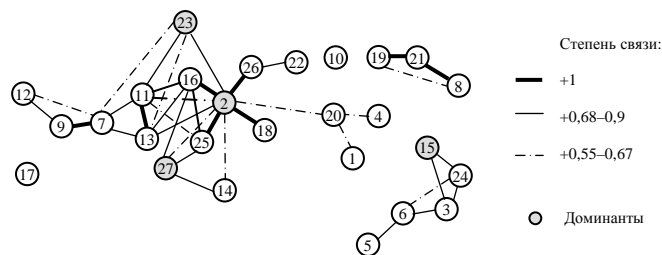


Рис. 3. Устойчивые положительные сопряженности видов и внутривидовых таксонов водорослей ханцшиеве-хлорхормидиево-гетеротрико-хлорококкового комплекса в слое 0-5 см сосняка бруснично-разнотравного (3 стадия). Лето 2000.

1 – *Chlamydomonas elliptica*; 2 – *Chlorococcum infusionum*; 3 – *Neosporangium alabamense*; 4 – *Trochiscopsis insignis*; 5 – *Bracteacoccus minor*; 6 – *Gloeocystis polydermatica*; 7 – *Coccomyxa confluens*; 8 – *Scotiellopsis reticulata*; 9 – *Mychonastes homosphaera*; 10 – *Chlorella reisi*; 11 – *Ch. vulgaris* var. *vulgaris*; 12 – *Muriella terrestris* var. *terrestris*; 13 – *Choricystis chodatii*; 14 – *Heterotetracystis intermedia*; 15 – *Chlorhormidium flaccidum*; 16 – *Stichococcus bacillaris*; 17 – *Pleurochloris magna*; 18 – *Botrydiopsis eriensis*; 19 – *Polyedriella helvetica*; 20 – *Bumilleriopsis peterseniana*; 21 – *B. terricola*; 22 – *Heterothrix bristoliana*; 23 – *H. exilis*; 24 – *Microcystis grevillei*; 25 – *Gloeocapsa minor*; 26 – *Navicula mutica*; 27 – *Hantzschia amphioxys*

Фитоценотические взаимовлияния доминантов друг на друга уже выражены слабее, т.к. межвидовые коэффициенты имеют отрицательные значения или ниже достоверного уровня значимости (табл. 5). К примеру, отсутствие взаимоотношений *Chlorhormidium flaccidum* с доминантами, за исключением *Hantzschia amphioxys* (степень связи +0,62), объясняет его вхождение в отдельный микрокомплекс (рис. 3).

Таблица 5

Качественно-количественная сопряженность между доминантными видами водорослей в слое 0-5 см сосняка бруснично-разнотравного (3 стадия)

Виды водорослей	<i>Hantzschia amphioxys</i>		<i>Chlorhormidium flaccidum</i>		<i>Heterothrix exilis</i>		<i>Chlorococcum infusionum</i>		
	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.	
<i>Hantzschia amphioxys</i>	об.	XXX	XXX	+0,62	-1	+0,01	-1	+0,24	+0,02
	ед.	XXX	XXX	-1	-0,5	+0,2	+0,47	-0,56	+0,62
<i>Chlorhormidium flaccidum</i>	об.	+0,62	-1	XXX	XXX	-1	-1	-0,11	-0,2
	ед.	-1	-0,5	XXX	XXX	-0,1	-1	-0,5	-0,4

При этом *Chlorhormidium flaccidum* контролирует распределение лесных сопутствующих видов *Neosporangium alabamense*, *Microcystis grevillei* (степень связи по +0,33). Вместе с тем доминанты частично оказывают влияние на распределение лесолуговых (16% от общего числа видов и внутривидовых таксонов) видов водорослей, которые обеспечили некоторое увеличение видового разнообразия в почве сосняка бруснично-разнотравного. К примеру, *Hantzschia amphioxys* контролирует распределение и обилие *Heterotetracystis intermedia* (степень связи +0,63). В остальных случаях поведение сопутствующих видов водорослей становится менее зависимым от организующего начала доминантных видов, в связи с наличием отрицательных коэффициентов межвидовой сопряженности (даже до -1) (табл. 6).

Таблица 6

Корреляционные связи доминантных и некоторых сопутствующих видов водорослей в слое 0-5 см сосняка бруснично-разнотравного (3 стадия)

Сопутствующие виды	Доминанты							
	<i>Hantzschia amphioxys</i>		<i>Chlorhormidium flaccidum</i>		<i>Heterothrix exilis</i>		<i>Chlorococcum infusionum</i>	
	об.*	ед.**	об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.
<i>Neosporangium alabamense</i>	-1	-0,33	+0,33	+0,14	-1	-1	-1	-0,6
<i>Scotiellopsis reticulata</i>	-0,1	-1	-0,1	0	-1	-1	-0,1	-0,5
<i>Heterotetracystis intermedia</i>	+0,63	0	+0,33	-1	-1	-1	+0,17	+0,14
<i>Polyedriella helvetica</i>	-1	-0,11	-0,56	-0,5	-0,2	-0,2	-0,11	-0,47
<i>Bumilleriopsis terricola</i>	-1	-1	-0,33	-0,25	-0,33	-1	-0,33	-0,6
<i>Microcystis grevillei</i>	-0,36	-1	+0,33	+0,2	-1	-1	-1	-0,1

Примечание: * – обильно; ** – единично

Такие луговые виды, как *Scotiellopsis reticulata*, *Polyedriella helvetica* и *Bumilleriopsis terricola*, образуют самостоятельный микрокомплекс и вообще не контролируются доминантами (степень связи даже до -1). Вторжение лесолуговых видов водорослей становится особенно интенсивным после замены одних доминантов, способных регулировать состав и структуру водорослевых комплексов фонового и слабо нарушенных рекреацией сосновых фитоценозов, на другие. Это приводит к трансформации водорослевых группировок бруснично-разнотравного соснового фитоценоза, которые перестают существовать как единая сбалансированная система. Структура почвенного ханцшиеве-хлорхормидиево-гетеротрико-хлорококкового комплекса становится мозаичной, состоящей из отдельных микрокомплексов.

Анализ парциальной сопряженности показывает, что в большинстве случаев (в 82 из 117) исключаемые водоросли-доминанты не влияют на распределение сопутствующих видов.

Таким образом, несмотря на некоторое увеличение видового и внутривидового разнообразия водорослей, происходит снижение функциональной организованности водорослевых комплексов, что является показателем нарушенности сосняка бруснично-разнотравного.

4.3. Альгокомплексы сосняка крапивного с примесью малины, находящегося на заключительном этапе рекреационной нагрузки (4 стадия)

Из 60 видов и внутривидовых таксонов водорослей, обнаруженных в сосняке крапивном с примесью малины, выделен скотиелопсисо-хорицистисо-хлорококковый комплекс (рис. 4).

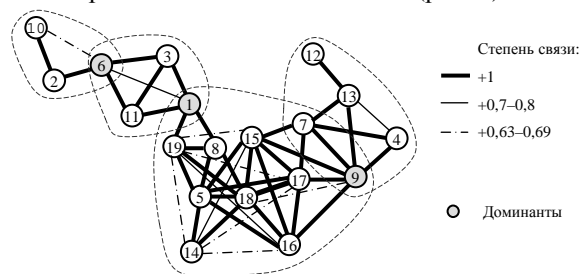


Рис. 4. Устойчивые положительные сопряженности видов и внутривидовых таксонов водорослей скотиелопсисо-хорицистисо-хлорококкового комплекса в слое 0-5 см сосняка крапивного с примесью малины (4 стадия). Лето 2000.

- 1 – *Chlorococcum infusionum*; 2 – *Spongiochloris spongiosa*; 3 – *Bracteacoccus minor*; 4 – *Coccomyxa confluens*; 5 – *Scotiellopsis levicostata*; 6 – *S. reticulata*; 7 – *Chlorella vulgaris* var. *vulgaris*; 8 – *Muriella terrestris* var. *terrestris*; 9 – *Choricystis chodatii*; 10 – *Ignatius tetrasporus*; 11 – *Chlorosarcinopsis dissociata*; 12 – *Ch. gelatinosa*; 13 – *Cyanothrix gardneri*; 14 – *Schizothrix lardacea*; 15 – *Symploca elegans*; 16 – *Cylindrospermum licheniforme*; 17 – *Tolypothrix tenuis*; 18 – *Hantzschia amphioxys*; 19 – *Pinnularia borealis*

Несмотря на уменьшение числа видов и внутривидовых таксонов водорослей (до 19), входящих в этот диагностический комплекс, биологический спектр достаточно разнообразен ($Ch_9X_3B_2C_1Cf_1Pf_1M_1$). В числе вновь обнаруженных – азотфиксирующие виды Cf- и Pf-форм: *Cylindrospermum licheniforme*, *Tolypothrix tenuis*, не типичные для лесов. Происходит постепенное замещение лесных и лесолуговых видов и внутривидовых таксонов водорослей (более 73% от общего числа в альгокомплексе) луговыми (более 26%). Среди них *Scotiellopsis levicostata*, *Schizothrix lardacea*, *Tolypothrix tenuis* отмечены для лугов Предбайкалья (Судакова, 1977) и лугов Присалаирья (Артамонова, 1985). Появление луговых видов и внутривидовых таксонов водорослей и вхождение их в число достоверно значимых в почвенный альгокомплекс, уже свидетельствует о коренной трансформации сосняка крапивного с примесью малины.

Пространственная структура отражает приуроченность видов водорослей к высшим растениям, либо к открытому участку почвы. Это обеспечивает, с одной стороны, создание сложного альгокомплекса с дробными автономными микрокомплексами, с другой – наличие переходных видов вызывает размытость границ. К примеру, *Coccomyxa confluens*, *Chlorosarcinopsis gelatinosa* встречаются непосредственно в околочронной зоне *Pinus sylvestris*, а *Scotiellopsis reticulata*, *Bracteacoccus minor* – в малинно-крапивной синузии. Такой вид, как *Chlorococcum infusionum*, отмечен в малинно-крапивной синузии и на открытом участке почвы, вследствие чего наблюдается пересечение «центров» альгокомплекса и теряется дискретность в

распределении водорослей. Большая же часть видов водорослей сосняка крапивного с примесью малины (более 58% от общего числа) зарегистрирована для почвы в отсутствии высших растений. Причем для микрокомплекса открытого участка почвы отмечена жесткость внутренней структуры за счет тесных взаимоотношений водорослей между собой (почти каждый с каждым). Такой тип альгокомплекса можно назвать агрегирующим, а характер взаимоотношений водорослей «агрегирующей дисперсией». Биотопическая кооперация связана с полезностью объединения организмов для выживания в неблагоприятных условиях (Георгиевский А.Б., 1984).

Основной причиной такой кооперации является не значимость того или иного доминанта в функционировании альгокомплексов, а ответная реакция этих организмов на рекреационные изменения. К примеру, независимо друг от друга распределены *Choricystis chodatii* и *Chlorococcum infusionum*, а также *Scotiellopsis reticulata* и *Choricystis chodatii*, т.к. коэффициенты сопряженности между ними ниже достоверного уровня значимости или равны нулю (табл. 7).

Таблица 7

Качественно-количественная сопряженность между доминантными видами водорослей в слое 0-5 см сосняка крапивного с примесью малины (4 стадия)

Виды водорослей		Scotiellopsis reticulata		Choricystis chodatii		Chlorococcum infusionum	
		об.	ед.	об.	ед.	об.	ед.
Scotiellopsis reticulata	об.	XXX	XXX	0	-1	+0,75	-0,43
	ед.	XXX	XXX	-1	-0,04	-1	+0,72
Choricystis chodatii	об.	0	-1	XXX	XXX	+0,25	-0,57
	ед.	-1	-0,04	XXX	XXX	-1	+0,15

Аналогична тенденция независимого распределения сопутствующих видов водорослей от доминантов (табл. 8). Это сопровождается уменьшением его «замкнутости», а значит, не способности доминантов противостоять внедрению «чужих» видов водорослей, не характерных для зональных лесных экосистем. Лишь высокие значения коэффициента межвидовой сопряженности отмечены у *Choricystis chodatii* с *Coccomyxa confluens* (степень связи по +0,63), что наблюдалось в фоновом лесу и свидетельствует о их «коадаптации».

Таблица 8

Корреляционные связи между доминантными и некоторыми сопутствующими видами водорослей в слое 0-5 см сосняка крапивного с примесью малины (4 стадия)

Сопутствующие виды	Доминанты					
	Scotiellopsis reticulata		Choricystis chodatii		Chlorococcum infusionum	
	об.*	ед.**	об.	ед.	об.	ед.
<i>Coccomyxa confluens</i>	-1	-1	+0,63	+0,05	-1	-1
<i>Scotiellopsis levicostata</i>	-1	-1	+0,25	+0,2	+0,25	+0,06
<i>Schizothrix lardacea</i>	-1	-1	-0,25	+0,37	-0,25	+0,29
<i>Cylindrospermum licheniforme</i>	-1	-1	+0,4	+0,24	+0,4	-0,31
<i>Tolypothrix tenuis</i>	-1	-1	+0,25	+0,37	+0,25	-0,14

Примечание: * – обильно; ** – единично

Наиболее полное представление о независимости распределения сопутствующих видов водорослей от доминантов (в 138 случаях из 154) получено в результате расчета парциальных сопряженностей. К примеру, при удалении доминанта *Scotiellopsis levicostata* в парах *Muriella terrestris* var. *terrestris* – *Pinnularia borealis* и *Pinnularia borealis* – *Tolypothrix tenuis* полные (+1 и +0,68 соответственно) сопряженности равны парциальным (+1 и +0,6).

Следовательно, происходит уменьшение видового и внутривидового разнообразия водорослей почти в 2 раза по сравнению с фоновым лесом. В спектре жизненных форм появляются представители водорослей ксероморфной природы (Cf-P-Pf-M-формы). Распад «континуальных» альгосинузий на отдельные водорослевые комплексы, приуроченные к различным синузиям высших растений или к открытым участкам почвы (тропинки) свидетельствуют о трансформации сосняка крапивного с примесью малины.

ГЛАВА 5. ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ И ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННЫХ ВОДРОСЛЕЙ КАК ПОКАЗАТЕЛИ СТЕПЕНИ НАРУШЕННОСТИ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ РЕКРЕАЦИЕЙ

5.1. Таксономическая структура почвенных водорослей

В почвах исследованных сосновых фитоценозов выявлено 193 вида (208 видов и внутривидовых таксонов), относящихся к 4 отделам, 14 порядкам, 32 семействам и 89 родам. Из всех выявленных видов большее число приходится на зеленые водоросли (Cyan₄₆Bas₈Xant₃₇Chlor₁₀₂), что составляет более чем половину всей флоры – 52,8%. Таксономическая структура упрощается пропорционально степени рекреационной нагрузки (табл. 9). Происходит снижение числа порядков, семейств почти в 1,5 раза, родов и видов более чем в 2 раза.

Таблица 9

Таксономическая структура почвенных водорослей сосновых фитоценозов разной степени рекреационной нагрузки

Фитоценоз (стадия нагрузки)	Число			
	порядков	семейств	родов	видов
Бруснично-зеленомошный (фон)	13	27	68	125 (133)*
Бруснично-зеленомошный (1 стадия)	13	26	58	106 (115)
Зеленомошно-брусничный (2 стадия)	11	24	46	72 (75)
Бруснично-разнотравный (3 стадия)	11	21	44	73(80)
Крапивный с примесью малины (4 стадия)	9	18	34	54 (60)

*-здесь и далее по тексту в скобках указано число видов и внутривидовых таксонов.

Характерной чертой альгофлор по мере нарастания нагрузки на фитоценозы является снижение числа зеленых водорослей по отношению к синезеленым вплоть до выравнивания Chlorophyta/Cyanophyta в сосняке крапивном с примесью малины (табл. 10). Долевое участие в альгофлоре отд.

Xanthophyta уменьшается пропорционально степени нарушенности сосновых фитоценозов более чем в 4,8 раз.

Таблица 10

Соотношение отделов почвенных водорослей в сосновых фитоценозах разной степени рекреационной нагрузки

Фитоценоз (стадия нагрузки)	Cyanophyta		Bacillariophyta		Xanthophyta		Chlorophyta	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Бруснично-зеленомошный (фон)	20 (22)	16,0	1	0,8	22	17,6	82 (88)	65,6
Бруснично-зеленомошный (1 стадия)	17 (20)	16,0	2	1,9	23	21,7	64 (70)	60,4
Зеленомошно-брусничный (2 стадия)	11 (13)	15,3	1	1,4	14	19,4	46 (47)	63,9
Бруснично-разнотравный (3 стадия)	23 (29)	31,5	8	11,0	10	13,7	32 (33)	43,8
Крапивный с примесью малины (4 стадия)	24 (29)	44,4	4	7,5	2	3,7	24 (25)	44,4

Распределение семейств в исследуемых сосновых фитоценозах оказывается достаточно своеобразным (табл. 11). В сосняках бруснично-зеленомошных (фон, 1 стадия) лесные черты флор отражают богато представленные сем. *Neochloridaceae*, *Pleurochloridaceae* и *Chlamydomonadaceae*. Антропогенный характер средне и сильно нарушенных сосновых фитоценозов (3, 4 стадии) диагностирует высокое положение сем. *Oscillatoriaceae* и *Chlorellaceae*. Высокие позиции сем. *Neochloridaceae* в фитоценозах отражает зональные черты альгофлор лесов. Это подтверждает тот факт, что городская флора не утрачивает полностью своих зональных черт и процесс антропогенизации урболандшафта контролируется зонально-климатическими условиями (Котлов, 1978).

Таблица 11

Ведущие семейства почвенных водорослей сосновых фитоценозов

Название семейства	Бруснично-зеленомошный (фон)		Бруснично-зеленомошный (1 стадия)		Зеленомошно-брусничный (2 стадия)		Бруснично-разнотравный (3 стадия)		Крапивный с примесью малины (4 стадия)	
	место	%	место	%	место	%	место	%	место	%
	Neochloridaceae	1	13,7	2-3	10,5	1-2	12,5	3	10,9	3
Pleurochloridaceae	2	11,3	1	14,3	1-2	12,5	7	5,5	10	1,8
Chlamydomonadaceae	3	10,5	2-3	10,5	6-8	6,9	11	1,4	–	–
Chlorellaceae	4	8,9	4	9,5	4-5	8,3	2	12,3	2	11,1
Oscillatoriaceae	8	4,8	10	2,9	10-11	1,4	1	13,7	1	24,1

Меры включения подчеркивают специфику альгофлор фонового и сосновых фитоценозов, находящихся на начальных стадиях рекреационной нагрузки, относительно альгофлор промежуточной и заключительной стадий.

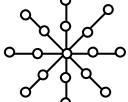
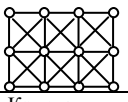
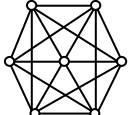
5.2. Фитоценотическая структура почвенных водорослей

Почвенные водоросли имеют свою специфику сосуществования видов в фитоценозе. Межвидовые ассоциированности и перестройка структуры группировок почвенных водорослей основных фитоценозов пропорциональны степени рекреационной нагрузки. Эта тенденция укладывается в концепцию пространственно-ценотической организации водорослевых группировок. Элементарной единицей альгосинузии, как исходной типологической единицы фитоценоза, является не любая совокупность водорослей, а некоторая естественная эволюционно сопряженная биоэкологическая группа видов водорослей – альгокомплекс. Эта группа характеризуется определенной общностью их положения в пространстве и во времени, ценотической структурой и диагностирует степень нарушенности леса.

Изменение структуры альгокомплексов позволяет предложить модель их преобразования (табл. 12) от «звезды» к «кристаллу» (в понимании П.В. Терентьева, 1960).

Таблица 12

Модель преобразования альгокомплексов сосновых фитоценозов разной степени рекреационной нагрузки

Фитоценоз (степень нагрузки)	Тип альгокомплекса	Показатель внутренней структуры (N)	Факторы ассоциирования			Степень интеграции
			Ценотические		Экологические	
			Влияние доминантов на сопутствующие	Значимость «+» отношений		
Бруснично-зеленомошный (фон, 1 стадия); зеленомошно-брусничный (2 стадия)	«Звезда» 	1,3	+++*	+++	+	3/1**
Бруснично-разнотравный (3 стадия)	«Сеть» 	1,6	++	++	++	2/2
Крапивный с примесью малины (4 стадия)	«Кристалл» 	2,6	+	+	+++	1/3

* – Степень влияния фактора: +- слабая; ++- средняя; +++ – сильная.

** – Степень интеграции рассчитывали по соотношению факторов ассоциирования (в числителе – влияние доминантов на сопутствующие; в знаменателе – влияние параметров среды).

N – отношение общей суммы связей комплекса к числу видов и внутривидовых таксонов.

«Звезда». Система соподчинения ценотических элементов, созданная в результате жизнедеятельности вида – главного комплексообразователя и видов-спутников, имеет значение регулятора функциональных связей в

системе (Залетаев, 1987). Это подтверждает ранее отмеченную нами тенденцию «ценотического подбора» водорослями-доминантами сопутствующих видов, что обеспечивает функциональную организованность водорослевых комплексов фонового и сосновых фитоценозов, находящихся на начальных стадиях рекреационной нагрузки. Положительные межвидовые взаимодействия внутри альгокомплекса могут рассматриваться как специфические системообразующие, благодаря которым создаются саморегулируемые сочетания. При этом лабильность связей внутренней структуры (N=1,3) позволяет водорослям противостоять изменениям окружающей среды и возвращаться после некоторых сдвигов гомеостаза к исходному уровню функционирования (Гапочка Л.Д., 1981).

«Сеть». В этой системе значение центрального признака падает, и может появиться несколько второстепенных центральных признаков. Это подтверждает тот факт, что поведение сопутствующих видов и внутривидовых таксонов водорослей становится все менее зависимым от организующего начала водорослей-доминантов. Такой тип взаимоотношений водорослей отмечен в сосняке бруснично-разнотравном (3 стадия). Увеличение показателя внутренней структуры альгокомплекса (N=1,6) отражает ослабление фитоценотических «коадаптивных» отношений между видами водорослей.

«Кристалл». Альгокомплексы с наиболее ярко выраженной степенью жесткости связей (N=2,6), которые являются показателем экстремальности условий. В результате интенсивной рекреационной нагрузки человек создает «экотоп». Совместное существование водорослей в почве сосняка крапивного с примесью малины (4 стадия) определяется уже не биотопическим отбором, а экотопическим, т.е. преимущественно условиями местообитания.

Рекреационная нагрузка на сосновые фитоценозы влечет за собой изменения пространственно-ценотической организации почвенных водорослей, которые укладываются в следующие тенденции:

- уменьшение видового разнообразия водорослей
- понижение средообразующей функции водорослей-доминантов по отношению к сопутствующим
- усиление адаптированности водорослей к «взаимосвязанному существованию» за счет стрессового фактора, а не в результате средообразующей роли водорослей-доминантов
- повышение роли экотопического отбора по сравнению с биотопическим (Э>Б)
- увеличение показателя внутренней структуры альгокомплексов ($\uparrow N$)
- увеличение ассоциированности альгокомплексов (от «индивидуализирующей» дисперсии к «агрегирующей»).

Таким образом, пространственно-функциональная организация водорослевых группировок является отражением рекреационных изменений, происходящих в лесных экосистемах, и характеризуется следующими моментами. Во-первых, меняется роль факторов, обеспечивающих совместное

существование водорослей в комплексах. Во-вторых, момент перехода эволюционно сопряженной биоэкологической группы видов и внутривидовых таксонов водорослей (ценотическая сопряженность) из текущего состояния в следующее (экологическая сопряженность) в процессе «рекреационной смены» определяется «внешними» факторами среды. Такая зависимость водорослей от внешних условий делает эту группу низших организмов чутким индикатором их изменений. Поэтому альгокомплекс – модель, с помощью которой возможен реальный прогноз состояния альгосинузий при заданных сценариях внешних воздействий.

ВЫВОДЫ

1. В почвах фонового и рекреационно нарушенных сосновых фитоценозов было выявлено 193 вида (208 видов и внутривидовых таксонов), относящихся к 4 отделам, 14 порядкам, 32 семействам и 89 родам. Из выявленных видов большее число приходится на зеленые водоросли ($Cyan_{46}Vac_8Xant_{37}Chlor_{102}$). С увеличением рекреационной нагрузки происходит снижение числа порядков и семейств почти в 1,5 раза, родов и видов более чем в 2 раза. Лесные черты флор отражают богато представленные сем. *Neochloridaceae*, *Pleurochloridaceae*, *Chlamydomonadaceae*, а антропогенный характер – сем. *Oscillatoriaceae* и *Chlorellaceae*.

2. На основе метода межвидовых сопряженностей выделено 28 альгокомплексов сосновых фитоценозов, диагностирующих степень рекреационной нагрузки. При переходе от начальных стадий дигрессии к заключительной наблюдается ксерофилизация видового и внутривидового состава водорослей, т.е. увеличение более чем в 3 раза доли синезеленых по сравнению с зелеными.

3. Основными факторами, определяющими межвидовые ассоциированности и структуру альгокомплексов сосновых фитоценозов при относительно слабой рекреационной нагрузке, являются ценотические взаимодействия между видами и внутривидовыми таксонами водорослей («внутренние факторы»), а при высокой степени нагрузки – экологические свойства среды («внешние факторы»).

4. Изменение пространственной структуры водорослевых комплексов позволяет предложить модель их преобразования от «звезды» к «кристаллу». Это означает, что постепенно лабильность связей внутренней структуры альгокомплексов уменьшается, вследствие ослабления средообразующей роли водорослей-доминантов по отношению к сопутствующим. Водоросли не способны после значительных изменений условий среды возвращаться к исходному саморегулированию.

5. Рекреационная нагрузка на сосновые фитоценозы влечет за собой изменения пространственно-ценотической организации почвенных водорослей. Происходит уменьшение видового разнообразия и усиление адаптированности водорослей к «взаимосвязанному существованию» за счет

стрессового фактора, а не в результате средообразующей роли водорослей-доминантов. Изменяется характер взаимоотношений между видами и внутривидовыми таксонами водорослей от «индивидуализирующей дисперсии» до «агрегирующей», что является откликом на рекреационные нарушения основных фитоценозов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Илюшенко А.Е. Систематическая структура альгофлоры сосняков- брусничников //Экология Южной Сибири. Материалы III Южно - Сибирской региональной научной конференции студентов и молодых ученых (17-20 ноября, в г.Абакане). – Красноярск: КГУ, 1999. – С. 15.
2. Илюшенко А.Е. Альгомеросинузии сосняков-брусничников //Тезисы докл. VII Молодежной конференции ботаников в Санкт-Петербурге (15-19 мая, 2000). – СПб., 2000. – С. 62-63.
3. Илюшенко А.Е. Организация водорослевых группировок сосняка зеленомошно-брусничного //Сборник научных работ студентов и молодых ученых. – Новосибирск, 2000. – Вып. 2. – С. 127-133.
4. Илюшенко А.Е. Особенности таксономической структуры почвенных водорослей сосновых фитоценозов рекреационного ряда дигрессии //Аспирантский сборник НГПУ-2000. – Новосибирск, 2000. – Ч. 2. – С. 82-88.
5. Илюшенко А.Е. Использование межвидовых сопряженностей для анализа структуры водорослевых группировок сосняка лишайниково-зеленомошного //Экология Южной Сибири. Материалы VI Южно-Сибирской международной научной конференции студентов и молодых ученых (1-4 ноября, 2000 в г.Абакане). – Красноярск: КГУ, 2000. – Т. 1. – С. 28-29.
6. Илюшенко А.Е. Альгомеросинузии сосновых фитоценозов рекреационного ряда //Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л.М. Черепнина: Материалы. III Российской конференции. – Красноярск, 2001. – С. 38-40.
7. Илюшенко А.Е. Оценка реакции лесных экосистем на рекреацию по параметрам видового разнообразия почвенных водорослей //Биология – наука XXI века. 5-я Пущинская конференция молодых ученых. – Пущино, 2001. – С. 235.
8. Илюшенко А.Е., Илюшенко П.В. Анализ фитоценологической структуры почвенных водорослей сосновых фитоценозов рекреационного ряда с помощью методов межвидовой сопряженности //Сибирский экологический журнал. – 2001. – Т. 8, № 4. – С. 413-418.
9. Илюшенко А.Е. Приспособления почвенных водорослей лесных фитоценозов к рекреационным нагрузкам //Сибирский экологический журнал. – 2001. – Т. 8, № 4. – С. 443-448.
10. Илюшенко А.Е. Реакция почвенных водорослей на рекреационные изменения сосновых фитоценозов //Исследования молодых ботаников Сибири: Тез. докл. молодежной конференции (Новосибирск, 20-22 февраля, 2001). – Новосибирск, 2001. – С. 38.
11. Илюшенко А.Е. Изменение пространственной организации альгогруппировок сосновых фитоценозов рекреационного ряда //Исследования молодых ботаников Сибири: Тез. докл. международного совещания (21-24 августа, 2001). – Новосибирск, 2001. – С. 49-50.
12. Илюшенко А.Е. Влияние *Pinus sylvestris* в разных типах сосновых фитоценозов на взаимоотношения почвенных водорослей //Биология – наука XXI века. 6-я Пущинская школа-конференция молодых ученых. – Пущино, 2002. – Т. 2. – С. 70-71.