

АЛЬГОФЛОРА БЕРЕЗОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье в сравнительном плане исследованы почвенные водоросли фоновых и рекреационно нарушенных почв березовых фитоценозов Новосибирской области. Выявлены изменения, касающиеся таксономической организации почвенных водорослей в результате рекреационного воздействия.

Ключевые слова: почвенные водоросли, березовые фитоценозы, рекреация.

N.Yu. Belich, Zh.F. Pivovarova

BIRCH PHYTOCENOSIS ALGAL FLORA IN NOVOSIBIRSK REGION

Soil algae of the background and recreationally disturbed soils of the birch phytocenoses in Novosibirsk region is researched in the article in the comparative plan. The changes concerning taxonomic organization of the soil algae as a result of recreational influence are revealed.

Key words: soil algae, birch phytocenoses, recreation.

Введение. Одна из актуальных проблем современной биологии – разработка подходов к сохранению и рациональному использованию биологического разнообразия в условиях усиления роли антропогенных факторов [1]. Рекреационное воздействие на природу в настоящее время можно рассматривать как один из основных антропогенных факторов [2]. В результате вытаптывания в лесном фитоценозе происходит деградация подстилки и почвы, что непосредственно влияет на развитие почвенной микробиоты в целом и на почвенные водоросли в частности. Водоросли являются функционально значимой группой, так как они участвуют в создании первичной продукции, влияют на физико-химические свойства почвы и ее структурирование, находятся в сложных трансбиотических взаимосвязях с другими автотрофными и гетеротрофными организмами. Вместе с тем особенности в структуре группировок почвенных водорослей служат дополнительной характеристикой почвы и дают возможность заметить начинающиеся изменения, в том числе антропогенные. Таким образом, они могут быть использованы для биоиндикации [3]. Особенно перспективно сопоставление альгофлоры в почвах антропогенно нарушенных ценозов с фоновыми, так как позволяет оценить последствия антропогенного прессинга.

Цель исследований. Выявить особенности изменения таксономической организации почвенных водорослей березовых фитоценозов как ответной реакции на рекреационную нагрузку.

Материалы и методы исследований. Альгофлору почвенных водорослей изучали в пяти районах (Болотнинский, Мошковский, Новосибирский сельский, Искитимский и Черепановский) Новосибирской области. В каждом из них в пределах березовых фитоценозов выделяли две ассоциации: фоновую и подверженную рекреационной нагрузке. Фоновые ассоциации определены в пределах типичной растительности, которая отражает особенности почвенно-экологических характеристик конкретных березовых фитоценозов. Исследованные фоновые ассоциации отличаются по видовому составу высших растений и типу почвы. Для рекреационных ассоциаций была установлена третья стадия дигрессии на основании методик, принятых в геоботанических исследованиях [4]. Под влиянием рекреационной нагрузки общее проективное покрытие высших растений уменьшается с 65 до 38 %. Доля сорных видов составляет 12 %. Важным показателем рекреационной нагрузки является увеличивающийся процент тропиновых сетей местами до 33 % от исследуемой площади. Происходит снижение мощности подстилки с 5 до 2 см и подщелачивание почвы (от pH 6,2 в фоновых до 7,8 в рекреационно нарушенных ассоциациях).

Отбор проб на видовой состав водорослей проводился в пределах выбранных ассоциаций, с учетом всех правил альгологических сборов [5]. Материалом для почвенно-альгологических исследований послужили 300 усредненных почвенных образцов, состоящих из 10 индивидуальных проб объемом 5 см³ каждый. Пробы отбирались в 2008–2009 годах (в мае, июле и октябре) под эдификатором *Betula pendula* Roth. и лесными доминантами, а также с открытых участков почвы.

Для выявления видовой состав альгофлоры использовали метод чашечных культур. Культуры выращивали стационарно в установке «Флора-1» при 8-часовом освещении в сутки лампами дневного света и температуре 20–22°C. Для увлажнения применяли питательный раствор Кнопа [5]. Просмотр чашечных куль-

тур проводили после 3 недель выращивания и заканчивали после 3–4 месяцев, учитывая возможные сукцессионные перестройки водорослевых группировок.

Материалы о видовом составе водорослей были размещены в сводные матрицы. Таксономическая структура приведена в соответствии с системой, принятой в справочнике «Водоросли» [6].

Результаты исследований и их обсуждение. Всего в почвах исследованных березовых фитоценозов (фоновые и рекреационно нарушенные) обнаружено 223 вида (257 видов и внутривидовых таксона) водорослей, относящихся к 4 отделам, 12 порядкам, 27 семействам и 72 родам. Из всех выявленных видов почти половина (47 %) приходится на зеленые водоросли, число более высоких таксономических единиц также максимально представлено в этом отделе. Второе и третье место по числу видов принадлежат отделу *Cyanophyta* (28 %) и *Xanthophyta* (21 %) соответственно. Отдел диатомовых водорослей представлен не столь разнообразно как три других отдела, и его вклад в общий состав альгофлоры составляет всего 4 %.

Семейственный спектр исследованной почвенной альгофлоры представлен 27 семействами. Как правило, число видов 10 ведущих семейств дает представление о систематической структуре флоры и если они объединяют в себе больше чем половину видов от всей изученной флоры, то её можно диагностировать как бореальную [7], что находит отражение и в нашем исследовании, девять ведущих семейств (табл. 1) объединяют в себе более 65 % от всех выявленных видов.

Таблица 1

Ведущие семейства и рода альгофлоры березовых фитоценозов Новосибирской области

Семейство	Место	Число видов	%	Род	Место	Число видов	%
<i>Pleurochloridaceae</i>	1	32	12,4	<i>Chlamydomonas</i>	1	19	7,4
<i>Oscillatoriaceae</i>	2	24	9,3	<i>Characiopsis</i>	2	12	4,7
<i>Neochloridaceae</i>	3	20	7,8	<i>Chlorococcum</i>	3–5	10	3,9
<i>Chlorellaceae</i>	4–5	19	7,4	<i>Oscillatoria</i>	3–5	10	3,9
<i>Chlamydomonadaceae</i>	4–5	19	7,4	<i>Phormidium</i>	3–5	10	3,9
<i>Ulotrichaceae</i>	6	18	7	<i>Monodus</i>	6–7	9	3,5
<i>Chlorococcaceae</i>	7	14	5,4	<i>Stichococcus</i>	6–7	9	3,5
<i>Characiopsidaceae</i>	8	12	4,7	<i>Navicula</i>	8–9	8	3,1
<i>Anabaenaceae</i>	9	11	4,3	<i>Nostoc</i>	8–9	8	3,1
Всего	9	169	65,7	<i>Tetracystis</i>	10	7	2,7
				<i>Bcero</i>	10	102	39,7

Большая часть семейств (35 %) в спектре представлена отделом зеленых водорослей. Они составляют основу семейственного спектра, тем самым сохраняя черты лесного типа растительности. Первые три места по числу таксонов занимают принадлежащие к разным отделам семейства *Pleurochloridaceae* отдела желто-зеленых, *Oscillatoriaceae* синезеленых и *Neochloridaceae* зеленых водорослей. Семейства *Chlamydomonadaceae* и *Ulotrichaceae*, занимая высокие позиции в семейственном спектре, явно подчеркивают лесной характер растительности [9]. На фоне семейств *Pleurochloridaceae*, *Neochloridaceae* и *Chlamydomonadaceae*, отражающих зональные признаки лесных фитоценозов, зарегистрировано появление несвойственных для лесных почв семейств *Oscillatoriaceae*, *Anabaenaceae*, что, вероятно, вызвано рекреационным воздействием.

Ранжирование родового спектра (табл. 1) выявило группу наиболее таксономически значимых родов. В число ведущих входят 10 родов, объединяющих в себе 39,7 % от общего числа видов. Достаточно определенно выделяется группа *Chlamydomonas* – *Characiopsis*, которая занимает главенствующие позиции. Все остальные рода находятся в связанных рангах. Анализ родовой структуры водорослей позволил выделить три блока родов. Первый блок – рода, характерные для степной зоны: *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Nostoc* [8], второй – рода, отмеченные для высокоширотных экосистем: *Chlamydomonas*, *Monodus*, *Navicula* [10]. Третий блок формируют рода *Stichococcus*, *Chlorococcum*, *Tetracystis* и *Characiopsis*, которые по многочисленным исследованиям свойственны флоре лесной зоны [11]. Этот факт можно объяснить эффектом перехода – экотонной зоной, которой является лесостепь.

На фоне общей характеристики альгофлоры всех березовых фитоценозов происходят изменения в соотношении отделов, порядков и семейств при сравнительном анализе фоновых и рекреационно нарушен-

ных (на третьей стадии) березовых фитоценозов. В первую очередь следует отметить уменьшение видового разнообразия в 1,2 раза в результате рекреационной нагрузки. Таксономическое разнообразие, выраженное в соотношении таксонов разного ранга, является ещё одной из характеристик, отражающих изменения в исследованных фитоценозах. В результате рекреационной нагрузки упрощается таксономическая структура альгофлоры. Тот факт, что под воздействием рекреации происходит обеднение альгофлоры, был отмечен не раз в работах по рекреационному воздействию на альгофлору многими учеными-альгологами [12, 13, 14]. Число видов зеленых водорослей уменьшается в 1,6 раза, а видов отдела желто-зеленых больше, чем в два раза. Однако увеличение видового разнообразия отдела синезеленых водорослей происходит в два с половиной раза (табл. 2). Все эти характерные изменения в соотношении отделов связаны с нарушенностью березовых фитоценозов. Этот факт соответствует известному принципу Тинемана, сформулированному им еще в 1939 г. Суть его в том, что чем больше отклонения условий существования от оптимума в пределах биотопа, тем беднее видами становится заселяющий его биоценоз.

Таблица 2

Таксономическая структура альгофлор березовых фитоценозов

Отдел	Число			
	порядков	семейств	родов	видов
Cyanophyta	3/3*	8/8	15/18	29/72
Chlorophyta	4/4	10/7	34/27	114/71
Xanthophyta	3/3	6/6	15/10	53/22
Bacillariophyta	2/2	2/2	3/3	8/9
Всего	12/12	26/23	67/58	204/174

*В числителе показатель для фонового фитоценоза, в знаменателе – для рекреационно нарушенного.

В фоновой ассоциации лидирующее место занимает отдел зеленых водорослей (114 видов), второе место принадлежит отделу желто-зеленых (53 вида), почти в два раза меньше видов в отделе синезеленых по сравнению с желто-зелеными. Такое распределение видов по отделам соответствует альгофлоре березовых фитоценозов [9, 11]. В результате рекреационного воздействия распределение видов по отделам резко отличается. Наибольшее число видов выявлено для отделов *Cyanophyta* и *Chlorophyta*. Однако внутренняя структура отдела *Chlorophyta* более разнородна, но в то же время это разнообразие создается за счет большого числа однородных семейств и одновидовых родов. Уменьшение видов желто-зеленых по сравнению с синезелеными происходит в три с лишним раза. Явное превалирование по числу видов синезелёных и небольшой процент жёлто-зелёных водорослей свидетельствует о проявлении экстремальности среды. Таким образом, рекреация нивелирует зональные особенности альгофлор.

Ранжированный список ведущих семейств исследованных ассоциаций отражает основные изменения, происходящие в результате антропогенного воздействия на почвенные водоросли. Так, лидирующими в анализируемых ассоциациях являются совершенно разные семейства. В фоновых ассоциациях это сем. *Pleurochloridaceae*, а в рекреационно нарушенных – сем. *Oscillatoriaceae* (табл. 3). Нитрогеназный аппарат клеток синезеленых водорослей, в том числе и осцилляториевых, как отмечает Е.М. Панкратова (1981), адаптирован к состоянию водного дефицита [15]. Эта особенность видов водорослей сем. *Oscillatoriaceae* позволяет им занимать первое место в спектре ведущих семейств рекреационно нарушенных ассоциаций. Лесные черты флор как в фоновой, так и в рекреационно нарушенной ассоциации, отражают богато представленные сем. *Ulotrichaceae* и *Neochloridaceae*. Несмотря на антропогенный прессинг, почва рекреационно нарушенной ассоциации «сохранила» вышеуказанные семейства в спектре ведущих, хотя общее число видов этих семейств незначительно уменьшилось. Не подвергся сильным перестройкам в сравниваемых спектрах видовой состав ещё двух семейств – одноклеточных водорослей убиквистов, составляющих основу сем. *Chlorellaceae* и видов сем. *Chlorococcaceae*. В связи с рекреационным воздействием произошли серьезные подвижки в числе видов сем. *Chlamydomonadaceae* и оно с верхних позиций (табл. 3) в фоновом фитоценозе спустилось на девятую позицию в рекреационно нарушенном. По-видимому это связано с тем, что виды этого семейства предпочитают обитать в почвах с кислой средой нежели в щелочной, и уменьшение их числа связано с подщелачиванием почвы в рекреационно нарушенной ассоциации [13].

Семейственный и родовой спектр альгофлор березовых фитоценозов

Семейство	Фон	Рекреация	Род	Фон	Рекреация
Pleurochloridaceae	31(15,2)	13(7,5)	Chlamydomonas	19 (9,3)	9 (5,2)
Chlamydomonadaceae	19 (9,3)	9 (5,2)	Characiopsis	12 (5,9)	-
Chlorellaceae	19 (9,3)	13 (7,5)	Chlorococcum	10 (4,9)	6 (3,4)
Ulotrichaceae	18 (8,8)	12 (6,9)	Stichococcus	9 (4,4)	7 (4)
Neochloridaceae	17 (8,3)	13 (7,5)	Monodus	8 (3,9)	5 (2,9)
Chlorococcaceae	14 (6,9)	10 (5,7)	Tetracystis	7 (3,4)	
Characiopsidaceae	12 (5,9)		Pleurochloris	6 (2,9)	-
Tetracistidaceae*	10 (4,9)	-	Coccomyxa	6 (2,9)	5 (2,9)
Oscillatoriaceae		24 (13,8)	Ellipsoidion	6 (2,9)	-
Anabaenaceae		11 (6,3)	Chlorella	6 (2,9)	5 (2,9)
Microcystidaceae		10 (5,7)	Navicula	6 (2,9)	7 (4)
			Phormidium	-	10 (5,7)
			Oscillatoria	-	10 (5,7)
			Nostoc	-	8 (4,6)
			Microcystis	-	6 (3,4)
Всего	140 (68,6)	115 (66,1)	Всего:	95 (46,3)	78 (44,7)

* Виды этого семейства не встречаются.

Семейство *Characiopsidaceae* не смогло войти в число ведущих в антропогенно нарушенной ассоциации, а виды сем. *Tetracistidaceae* вообще не были обнаружены. Однако виды этого семейства являются типичными представителями березовых фитоценозов [9]. Необходимо указать на появление в рассматриваемом спектре рекреационно нарушенных ассоциаций на такие семейства, как *Anabaenaceae* и *Microcystidaceae*. Наличие у представителей *Cyanophyta* сигнальных систем (QS-систем), в которых синтез биохимических факторов приводит к изменению физиологического статуса популяции, позволяет синезеленым водорослям в более короткие сроки адаптироваться к изменяющимся условиям среды [16]. Увеличение числа семейств синезелёных водорослей указывает на более экстремальные условия среды. Этот же факт подтверждает отсутствие в десяти ведущих семействах видов жёлто-зелёных водорослей.

Родовой спектр более подробно и детально раскрывает происходящие изменения в исследованных фитоценозах. Прежде всего, это проявляется в том, что в фоновой ассоциации ведущие рода более насыщены видами (табл. 3); также в этом спектре происходит перераспределение лидирующих позиций в зависимости от фитоценоза. Так, для фоновой фитоценоза можно совершенно четко выделить шесть ведущих родов, которые отличаются по числу видов между собой, остальные рода находятся в связанных рангах. В тройку ведущих родов входят *Chlamydomonas*, *Characiopsis* и *Chlorococcum*. Лидирующими родами в рекреационно нарушенных ценозах становятся р. *Phormidium* и *Oscillatoria*, имеющие одинаковое число видов (по десять). В качестве защитных механизмов от высыхания у них служат наличие слизистых чехлов и капсул, утолщение клеточных стенок, образование дополнительных пигментов, накопление клетками продуктов запаса в виде зерен крахмала и масел [17]. Третье место в рекреационно нарушенной ассоциации принадлежит видам р. *Chlamydomonas*. Было обнаружено, что почти все виды р. *Chlamydomonas* в естественных ассоциациях находятся в подвижном состоянии, а в почве рекреационно нарушенной ассоциации практически все в пальмеллевидном состоянии, выделяя обильную слизь. Основу родовой спектра как в фоновой, так и нарушенной ассоциации, составляют рода из отдела зеленых водорослей. Они меньше всего подверглись внутривидовым перестройкам в связи с антропогенной нагрузкой. В этом же отношении отличились виды р. *Navicula* отдела диатомовых водорослей. Они, обладая способностью перемещаться из сухих почвенных микрзон в более влажные, способны выживать в почвах с острым дефицитом влаги [18]. Основные изменения коснулись родов отдела желто-зеленых – это р. *Characiopsis*, занимающий вторую позицию в фоновой и не вошедший в спектр ведущих родов альгофлоры рекреационно нарушенной ассоциации. Такие рода, как *Pleurochloris* и *Ellipsoidion*, также изменили свой статус и не вошли в число ведущих в результате рекреационного воздействия. Род *Monodus* – это единственный род из отдела желто-зеленых, вошедший в родовой спектр нарушенного ценоза (хотя число видов заметно уменьшилось). Род *Tetracystis* так же как и аналогичное семейство полностью выпадает и не проявляется в почвах антропогенно нарушенной ассоциации. Необ-

ходимо отметить, что в почве рекреационной ассоциации появляются рода *Nostoc* и *Microcystis*. Это почвенные водоросли, образующие мощную колониальную слизь или слизистые чехлы, которые накапливают и сохраняют влагу. Виды р. *Nostoc* (*N. commune*, *N. punctiforme*) обладают также достаточно широкими адаптационными возможностями, являясь к тому же мезоксерофитами.

По сравнению с фоновой ассоциацией произошло увеличение видов из числа синезеленых водорослей. Одновременно с этим сократилось число типичных лесных видов из отдела желто-зеленых. Этому способствовало комплексное изменение условий обитания по ряду экологических факторов: иссушение и подщелачивания почвы, уменьшение высоты подстилки и повышенная освещенность.

Заключение. Исследования по изучению почвенной альгофлоры по пяти районам Новосибирской области позволяют сделать следующие обобщения: в целом было определено 257 видов и внутривидовых таксонов водорослей. Все они относятся к 4 отделам, 12 порядкам, 27 семействам и 72 родам. Анализируя всю альгофлору и сравнивая между собой фоновые и рекреационно нарушенные ценозы, следует отметить, что соотношение основных отделов почвенных водорослей соответствует зональным особенностям климата, а во внутренней таксономической организации альгофлоры наблюдается отклик на частные экологические особенности условий среды и антропогенное вмешательство.

Литература

1. Дубовик И.Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий. – Уфа, 1995. – 154 с.
2. Таран И.В., Спиридонов В.Н., Беликова Н.Д. Леса города. – Новосибирск: СО РАН, 2004. – 196 с.
3. Штина Э.А. Почвенные водоросли как экологические индикаторы // Ботан. журн. – 1990. – Т. 75. – № 1. – С. 441–453.
4. Горчаковский П.Л., Телегова О.В. Сравнительная оценка уровня синантропизации растительного покрова особо охраняемых природных территорий // Экология. – 2005. – № 6. – С. 403–408.
5. Хазиев Ф.Х., Кабиров Р.Р. Количественные методы почвенно-альгологических исследований. – Уфа: БФАН СССР, 1986. – 172 с.
6. Водоросли: справ. / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк [и др.]. – Киев: Наук. думка, 1989. – 606 с.
7. Толмачев А.И. Введение в географию растений. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. – 244 с.
8. Пивоварова Ж.Ф. Особенности флористического состава и фитоценотической организации водорослевых группировок горных степей Северо-Восточной Азии // Ботан. журн. – 1986. – Т. 71. – № 4. – С. 521–527.
9. Чаплыгина О.Я. Сравнительная характеристика почвенных водорослей в лесных фитоценозах разных географических областей: тез. докл. – Л.: Наука, 1978. – С. 336.
10. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 163 с.
11. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. – М.: Наука, 1984. – 149 с.
12. Суханова Н.В. Группировки почвенных водорослей в условиях интенсивной рекреационной нагрузки. – Уфа, 1995. – 16 с.
13. Сугачкова Е.В. Влияние рекреационной нагрузки на сообщества почвенных водорослей: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Уфа, 2000. – 22 с.
14. Илюшенко А.Е. Группировки почвенных водорослей сосновых фитоценозов в режиме рекреационной нагрузки: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2003. – 17 с.
15. Панкратова Е.М. Фиксация атмосферного азота синезелеными водорослями в природных условиях // Ботан. журн. – 1973. – Т. 58. – № 3. – С. 360–368.
16. Семенова Л.Р., Селях И.О., Щербаков П.Н. Оценка способности культур цианобактерий к продукции N-ацил-гомосерин лактонов-аутоиндукторов QS-систем регуляции // Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов: мат-лы Всерос. симп. с междунар. участием (Москва, 24–27 дек. 2009). – М.: МАКС Пресс, 2009. – С. 167.
17. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976. – 143 с.
18. Шушурева М.Г. Влияние выпаса на почвенные водоросли степных биогеоценозов // Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Сер. Биол. науки. – 1985. – № 13(406). – С. 65–70.