

Состав и структура альгоценозов северотаёжных экосистем на различных элементах рельефа в условиях техногенной нагрузки

© 2013. Р. Р. Кабиров¹, д.б.н., зав. кафедрой, Т. В. Черненкова², д.б.н., в.н.с.,
Н. В. Суханова¹, к.б.н., доцент, Н. А. Шмелев³, к.б.н., доцент,
¹Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,
²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
³Бирская государственная социально-педагогическая академия,
e-mail: kkabirov@yandex.ru, chernenkova50@mail.ru, reptil11@yandex.ru

Проведён сравнительный анализ альгоценозов, находящихся на разном расстоянии от металлургического комбината «Североникель» и расположенных на различных элементах рельефа. Показано, что на обследованной территории наблюдается мозаика альгоценозов. Ярко выраженного влияния техногенного загрязнения и рельефа на состав и структуру изученных альгоценозов не обнаружено.

There was made a comparative analysis of algocenoses differently distanced from «Severonickel» metallurgical plant and located on various landscape elements. A mosaic of algocenoses exists on the investigated territory. No particular influence of technogenic pollution, as well as of the relief peculiarities, on structure and composition of the investigated algocenoses was found out.

Ключевые слова: почвенные водоросли, альгоценоз, экологические факторы, сходство альгоценозов

Key words: soil algae, algocenoses, ecological factors, algocenoses similarities

Изучению структуры и динамики различных компонентов северотаёжных экосистем в условиях влияния крупных промышленных производств посвящено немало работ. Имеется много данных по оценке состояния растительных сообществ в условиях техногенно-нарушенных ландшафтов [1], почвенной мезофауны [2], мелких млекопитающих [3]. Есть работы по почвенным водорослям [4, 5]. Однако этих сведений явно недостаточно для понимания роли альгокомпонента в северотаёжных экосистемах.

Целью данной работы является исследование состава и структуры альгоценозов северотаёжных экосистем на различных элементах рельефа в условиях техногенной нагрузки.

Материал и методика

Исследования проводились в окрестностях металлургического комбината «Североникель» (Мончегорский р-н, Мурманская обл.). Данная территория целиком расположена за полярным кругом в подзоне северной тайги и занята в основном еловыми и сосновыми мохово-кустарничковыми редкостойными лесами. Состояние ненарушенных ельников сравнительно простое: имеется один ярус,

характеризующийся сомкнутостью (0,2–0,4) и малыми полнотами (средний класс бонитета IV–V). Из-за небольшой сомкнутости древостоя присутствует постоянная примесь берёзы. Кроме древесного развиты ещё три яруса: кустарничковый (иногда он не выражен), травяно-кустарничковый и напочвенный, состоящий из мохообразных и лишайников. Общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса в среднем составляет 70%. Моховой покров сплошной, формирует ОПП 90–100%; доминируют зелёные мхи. Лишайники встречаются постоянными вкраплениями в моховой покров, местами формируют отдельно выраженные лишайниковые синузии. На деревьях обильны эпифитные лишайники. Основными ингредиентами токсического воздействия в исследуемом районе выступают тяжёлые металлы и сернистые соединения.

Отбор проб проводился в августе 2007 г. в ельниках чернично-зелёномошных на 4-х профилях. Они располагались на хорошо дренированных склонах с перепадом высот 120–300 м над уровнем моря вдоль трансекты длиной 65 км южного направления, соответствующего наибольшему поллютантному следу. Профиль 1 – удаление от комбината 18 км; профиль 2 – 30 км; профиль 3 – 50 км; профиль 4 – 14 км.

Пробы отбирали на трёх элементах рельефа: вершина профиля, середина профиля, нижняя точка профиля. Каждая проба состояла из 2-х образцов: AoL – опад+живые мхи и AoF – оторфяненный слой на глубину до 10 см. Некоторые пробы включали только 1 образец, т. к. AoL и AoF разделить не удавалось. Всего для анализа было собрано 109 образцов. При изучении видового состава водорослей использовали классические почвенно-альгологические методы: водные культуры и чашечные культуры со стёклами обрастания [6]. Обозначение жизненных форм (экобиоморф) приведено по классификации Э. А. Штиной [7, 8]. Степень развития водорослей оценивали по 15-бальной шкале обилия [9].

В таблице 1 приведены сводные данные по всем пробам соответствующего профиля. При этом в таблице для каждого вида указан максимальный балл обилия из всех имеющихся в соответствующих рабочих таблицах (они очень объёмны, поэтому в данной статье не представлены). Итоговая сумма баллов обилия для альгоценозов вычислена по этим максимальным показателям. Такой подход имеет свои достоинства и недостатки. К основным достоинствам следует отнести то, что по максимальному показателю в какой-то степени можно оценить потенциальную пригодность данной среды для конкретного вида. Один из недостатков – не учитывается встречаемость вида. Так, если на 6 площадках данного местообитания вид А встречался с баллами обилия: 5, 8, 11, 2, 2, 1, а вид Б только 1 раз, но с обилием 15 баллов, то в итоговой таблице для вида А будет указано 11 баллов, а для вида Б – 15 баллов.

Результаты и их обсуждение

Как и следовало ожидать, видовое разнообразие почвенных водорослей было небольшим. Преобладали одноклеточные зелёные, в основном из *Clamydomonadaceae*. Выявлено 3 вида жёлтозелёных и 3 вида диатомовых водорослей (табл. 1). К условиям, лимитирующим развитие почвенных водорослей в хвойных лесах, следует отнести неблагоприятное действие опада, кислотность, низкую интенсивность света, менее благоприятные условия увлажнения. Хвойный опад беден азотом, содержит альгостатические вещества, имеет кислую реакцию, его разлагают многочисленные гетеротрофные организмы, среди которых имеются антагонисты водорослей. Перечисленные факторы оказывают отбирающее действие на

почвенные водоросли и контролируют качественный состав и количественные параметры альгоценозов.

В то же время ряд видов зелёных и жёлтозелёных водорослей очень устойчив к затенению, пониженным значениям рН, недостаточной влажности. К таким видам следует отнести *Bracteacoccus minor*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Chlamydomonas gelatinosa*, *Ch. gloeogama*, *Ch. peterfii*, *Ch. snowiae*, *Pleurochloris imitans*, *Ellipsoidion oocystoides*, *Gloeobotrys chlorinus*, *Heterococcus chodatii* и др. [10]. В целом на фоне относительной бедности флористического состава альгоценозов хвойных лесов таёжной зоны наблюдается их большое сходство в соотношении отдельных групп водорослей, состава доминирующих видов, состава экобиоморф.

В современной фитоценологии доминирует концепция континуума, согласно которой большинство растительных сообществ непрерывно переходят одно в другое [11]. В то же время в рамках этой концепции используется прагматический редукционизм, т. е. сведение континуальных явлений к системе дискретных единиц. Степень редукции, в первую очередь, определяется целями и задачами, которые ставит перед собой исследователь.

Желая установить изменения альгоценозов по вектору техногенной нагрузки и влияние на них рельефа, мы изучали альгоценозы, находящиеся на разном расстоянии от источника загрязнения и на разных элементах рельефа.

В данном исследовании эти альгоценозы можно рассматривать как отдельные дискретные сообщества, которые можно сравнивать между собой с использованием выбранных критериев.

Любое сообщество, в том числе и сообщество почвенных водорослей (альгоценоз), описывается набором определённых критериев. Альгоценоз – «природная группировка, сформировавшаяся в результате приспособления к определённому биотопу и в результате взаимодействия между членами биоценоза» [6]. Подробное описание альгоценоза с использованием большого набора качественных и количественных характеристик – очень трудоёмкая процедура. Чаще всего исследователи оперируют небольшим числом показателей, по которым сравнивают изучаемые альгоценозы. К таким показателям прежде всего относятся: видовой состав, состав доминантов и субдоминантов, таксономическая структура (число видов в родах, число родов в семействах

Таблица 1

Видовой состав почвенных водорослей на разных элементах рельефа

Виды водорослей	Элемент рельефа										ЖФ	Сводный видовой список			
	Вершина профиля					Середина профиля						Низ профиля	Верх	Сере- дина	Низ
	Вр-14	Вр-18	Вр-30	Вр-50	Ср-18	Ср-30	Ср-50	Нз-14	Нз-18	Нз-30					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
CHLOROPHYTA															
<i>Bracteacoccus grandis</i> Bischoff et Bold	4	4		3	2		15		3			4	15	3	
<i>Chlamydomonas actinochloris</i> Deason et Bold	6			1				4				6		4	
<i>Ch. acutata</i> Korsch.									4				4		
<i>Ch. aggregata</i> Deason et Bold							4	4					4	4	
<i>Ch. atactogama</i> Korsch.	1		15	7	6	15		7		7		15	15	7	
<i>Ch. elliptica</i> Korsch.								4	2	2				4	
<i>Ch. gloeogama</i> Korsch.	3			13			4	4				13	4	4	
<i>Ch. globosa</i> Snow															
<i>Ch. intermedia</i> Chodat	5							3	8				5	8	
<i>Ch. isogama</i> Korsch.		6	15	2		14	15					15	15		
<i>Ch. neglecta</i> Korsch.				10			9					10	9		
<i>Ch. minima</i> Korsch.	15		15	15		10	10	15		3		15	10	15	
<i>Ch. noctigama</i> Korsch.															
<i>Ch. polichloris</i> Korsch.								2						2	
<i>Ch. reinhardtii</i> Dang.				15			5	4				15	5	4	
<i>Ch. snowiae</i> Printz															
<i>Chlorella minutissima</i> Fott et Novakova	2		7	15		9	7	10	10	7		15	7	10	
<i>Ch. vulgaris</i> Beijer.				6				6				6	6	6	
<i>Chlorococcum infusioenum</i> Menegh.				14					6	6		14	6	6	
<i>Coccomyxa confluens</i> (Kutz.) Fott		3	4							10		4	4	10	
<i>C. solitariae</i> Chodat	12			5			8	15				12	8	15	
<i>Dityrococcus varians</i> Gern.					7									7	
<i>Hypnomonas ellipsoidea</i> Korsch.															

и порядках, число порядков в отделах); ведущие семейства, состав жизненных форм, обилие особей выявленных видов и ряд других характеристик.

Можно принять, что превращение одного альгоценоза в другой происходит при выполнении хотя бы одного из следующих условий:

1. Видовой состав изменяется более чем на 50%.
2. Происходят изменения в комплексе доминантов на уровне отделов.
3. Изменяется таксономическая структура альгоценоза на уровне отделов. Значимым следует считать появление или выпадение отделов, к которым относится 10% и более обнаруженных в альгоценозе видов.
4. Изменяется экологическая структура сообщества. Значимым следует считать выпадение или появление жизненных форм, к которым относятся 10 % и более видового состава альгоценоза [12, 13].

Исходя из принятых положений, проанализируем альгоценозы различных элементов рельефа. В качестве базового возьмём альгоценоз, расположенный на наибольшем удалении от Мончегорского комбината (50 км) на вершине профиля (Вр-50), и обозначим его как альгоценоз А. На расстоянии 30 км от комбината, на вершине профиля, сформировался альгоценоз Вр-30. У альгоценоза А (Вр-50) и альгоценоза Вр-30 одинаковый состав отделов (табл. 2) и состав экобиоморф. Они немного отличаются по составу доминантов, но все доминанты относятся к одному отделу. В принятой концепции эти отличия являются не существенными. Однако в альгоценозе Вр-30 видовое разнообразие снизилось на 53% по сравнению с альгоценозом А. В принятой концепции (видовой состав изменяется более чем на 50%) этот альгоценоз (Вр-30) является другим, не таким, как альгоценоз А. Обозначим его как альгоценоз Б.

Альгоценоз Вр-18 отличается от альгоценоза А по следующим параметрам: видовое разнообразие составляет только 20% от видового разнообразия альгоценоза А; из Вр-18 выпали две экобиоморфы (С и Х), к которым относятся 47% видов. Согласно 1 и 3 положениям (видовой состав изменяется более чем на 50%, значимым следует считать выпадение или появление жизненных форм, к которым относятся 10% и более видового состава альгоценоза) альгоценоз Вр-18 не является альгоценозом А. В тоже время он не является альгоценозом Б, так как от него он отличается, во-первых, выпадени-

ем из сообщества отдела жёлтозелёных водорослей, к которому в альгоценозе Б относится 14% общего видового разнообразия (т. е. больше 10%). Во-вторых, из альгоценоза Вр-18 выпали две экобиоморфы С и Х, к которым относится 56% видового разнообразия (табл. 2). Исходя из этого Вр-18 можно обозначить как альгоценоз В, не сходный с альгоценозами А и Б.

Альгоценоз Вр-14 отличается от альгоценоза А по составу отделов (табл. 2), однако это затрагивает только 7% видового разнообразия (не существенно). Число видов в одном из сравниваемых альгоценозов 15, в другом – 14 (различие не существенно). Выявленные доминанты относятся к одному и тому же отделу водорослей. Однако в альгоценозе Вр-14 обнаружены две экобиоморфы (В и Н), которые в сумме содержат 14% видового разнообразия и которых нет в альгоценозе А (табл. 2). Следовательно, это не альгоценоз А. От альгоценоза Б альгоценоз Вр-14 отличается числом видов, но оно не превышает 50-процентный порог. Доминанты обоих водорослевых сообществ принадлежат одному отделу. Кроме представителей из отдела зелёных водорослей в составе этих сообществ есть представители других отделов. У альгоценоза Вр-14 – диатомовые (7% от общего видового разнообразия), у альгоценоза Б – жёлтозелёные (14%). Различия между этими сообществами по жёлтозелёным – значимые различия. Это же относится к различию по экобиоморфам. Следовательно, альгоценоз Вр-14 не является альгоценозом Б. Из-за различий в числе видов и в составе экобиоморф альгоценоз Вр-14 не является и альгоценозом В. Обозначим его как альгоценоз Г.

По такой же схеме проведено сравнение других альгоценозов друг с другом. При этом несходные альгоценозы обозначены разными буквами. Альгоценозы, которые не имели значимых различий по оцениваемым параметрам, но полностью не тождественны, обозначены той же буквой, но с подстрочным индексом (табл. 2). Как видно из таблицы 2, на исследованной территории выявлено 7 типов альгоценозов, условно обозначенных как А, Б, В, Г, Д, Е, Ж. При этом на расстоянии 30 и 50 км от комбината на вершине и середине профиля сформировались сходные альгоценозы. На расстоянии 30 км альгоценозы Б и Б₁, на расстоянии 50 км альгоценозы А и А₁. Такие же сходные альгоценозы (Ж и Ж₁) сформировались внизу профиля на расстоянии 18 и 30 км от комбината.

Многokратное снижение выбросов комбината, повлекшее начало восстановительной

Таблица 2
Основные характеристики альгоценозов различных элементов рельефа

Характеристики альгоценозов	Элемент рельефа											
	Вершина профиля					Середина профиля					Низ профиля	
	Вр-14	Вр-18	Вр-30	Вр-50	Ср-18	Ср-30	Ср-50	Нз-14	Нз-18	Нз-30		
Обозначение альгоценозов	Г	В	Б	А	Д	Б ₁	А ₁	Е	Ж	Ж		
Типы альгоценозов	14	3	7	15	4	5	12	14	9	10		
Число видов	I (93) II (7)	I (100)	I (96) III (14)	I (93) III (7)	I (100)	I (80) III (20)	I (92) III (8)	I (100)	I (78) II (11) III (11)	I (80) II (10) III (10)		
Отделы												
Состав экобиоморф	Ch (21) C (36) X (22) B (7) H (7) Amph. (7)	Ch (67) Amph. (33)	Ch (28) C (28) X (28) Amph. (16)	Ch (40) C (34) X (13) Amph. (13)	Ch (50) C (25) X (25)	Ch (20) C (40) X (20) Amph. (20)	Ch (33) C (33) X (17) Amph. (17)	Ch (21) C (65) X (14)	Ch (45) C (33) X (11) B (11)	Ch (30) C (30) X (30) B (10)		
Доминанты												
<i>Bracteacoccus grandis</i> (I)			+				+					
<i>Chlamydomonas atactogama</i> (I)												
<i>Ch. isogama</i> (I)	+											
<i>Ch. minima</i> (I)			+									
<i>Ch. reinhardtii</i> (I)				+								
<i>Chlorella minutissima</i> (I)												
<i>Coccomyxa solorginae</i> (I)												
<i>Stichococcus minutissimus</i> (I)												

Примечание: в строке «обозначение альгоценоза» сокращениями Вр, Ср, Нз – указано положение на рельефе: вершина профиля, середина профиля, низ профиля. Цифры показывают расстояние от комбината в км. I – *Chlorophyta*, II – *Vacillariophyta*, III – *Xanthophyta*, цифрами в скобках указано число видов (в % от общего числа обнаруженных видов) в отделе или жизненной форме. Обозначение жизненных форм (экобиоморф) приведено по классификации Э.А. Штиной (Штина, Голлербах, 1976; Алексанина, Штина, 1984). В том случае, когда обилие ни одного вида не достигает 15 баллов, в качестве доминирующего рассматривается один вид, имеющий максимальный балл обилия из всех видов, составляющих данный альгоценоз. Характеристики типов альгоценозов приведены в тексте.

сукцессии земного покрова растительности в окрестностях производства [12], видимо, вызвало изменение структуры и состава альгоценозов почв. Перестройка организации сообществ почвенных водорослей по сравнению с их оценкой в период максимальных выбросов наиболее активно проходила в импактной и буферной зонах, в которых поверхность почвы начала покрываться инициальными группировками мохообразных и лишайников, регулируя тем самым гидротермические условия почв.

Заключение

Чётко выраженной тенденции влияния загрязнения на сходство видового состава альгогруппировок, находящихся на разных расстояниях от комбината, выявить не удалось. Когда один или несколько сильно действующих факторов «давят» на сообщество, происходит некоторая унификация видового состава. В данном случае этого не произошло. Сочетание в настоящее время разнонаправленных дигрессионных и демулационных процессов в условиях сохранения всё ещё высокотоксичной среды в окрестностях металлургического комбината продемонстрировало неоднозначную картину изменения состава альгосинузий по градиенту загрязнения. На обследованной территории обнаружена мозаика альгоценозов. Практически на каждой площадке развивался свой особый альгоценоз. Некоторая закономерность прослеживалась при рассмотрении альгоценозов, развивающихся на разных элементах рельефа. На вершине и середине склонов обнаружены сходные альгоценозы.

Литература

1. Черненко Т. В., Бутусов О. В., Сычев В. В., Конева Г. Г., Кабиров Р. Р., Степанов А. М., Куперман Р. Г.,

Катаев Г. Д. Воздействие металлургических производств на лесные экосистемы Кольского полуострова. СПб.: Изд-во Родники, 1995. 252 с.

2. Танасевич А. В., Рыбалов Л. Б., Камаев И. О. Динамика почвенной мезофауны в зоне техногенного воздействия // Лесоведение. 2009. № 6. С. 63–72.

3. Катаев Г. Д. Оценка состояния сообщества млекопитающих северотаёжных экосистем в окрестностях предприятия по производству никеля // Экология. 2005. Т. 36. № 6. С. 460–465.

4. Kabirov R. R. Changes of north forest algaesinusia under human impact in the Kola region // Aerial pollution in Cola peninsula. International workshop. Apatity. 1993. P. 268–271.

5. Кабиров Р.Р. Альгосинузии хвойных лесов в районе комбината «Североникель» (Кольский полуостров) // Лесоведение. 1997. № 3. С. 33–39.

6. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

7. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1969. 143 с.

8. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 50 с.

9. Кабиров Р.Р., Сафиуллина Л.М. Особенности экологии и распространения одноклеточной почвенной водоросли *Eustigmatos magnus* (J.V. Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta) в Южном Урале (Россия) // Альгология. 2008. Т. 48. № 2. С. 134–144.

10. Чаплыгина О.Я. Почвенные водоросли сосновых и еловых лесов Московской области // Ботан. журн. 1976. Т.61. № 8. С. 1077–1088.

11. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.

12. Черненко Т.В., Кабиров Р.Р., Басова Е.В. Восстановительные сукцессии северотаёжных ельников при снижении аэротехногенной нагрузки // Лесоведение. 2011. № 6. С. 49–66.

13. Кабиров Р.Р., Гайсина Л.А., Сафиуллина Л.М. Использование универсальных критериев при оценке экологического состояния почвенных альгоценозов // Экология. 2010. № 4. С. 266–270.