

### СТРУКТУРА ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНО-ВОДОРΟΣЛЕВОЙ ФЛОРЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СУБСТРАТОВ

Исследованиями авторов определены 66 видов водорослей и цианопрокариот в почвах хребта Чан. Выявлены маркерные признаки водорослей и цианопрокариот, которые могут указывать на инициальные процессы освоения субстрата.

**Ключевые слова:** почвенные водоросли и цианобактерии, первичный субстрат.

A.G. Blagodatnova, A.N. Kulyatina

### THE STRUCTURE OF CYANOBACTERIAL-ALGAL FLORA AS THE INDICATOR OF THE PRIMARY SUBSTRATE DEVELOPMENT

66 species of algae and cyanoprocarvot in the soils of the Chang ridge are defined by the authors' research. The marker signs of algae and cyanoprocarvot that can point to the initial processes of the substrate development are revealed.

**Key words:** soil algae and cyanobacteria, primary substrate.

**Введение.** На сегодняшний день актуальна задача освоения субстратов других планет. Несомненно, что первопоселенцами любых субстратов будут являться микроскопические грибы, бактерии и почвенные водоросли. Для моделирования и проектирования искусственных экосистем традиционно используются почвенные водоросли, которые занимают в процессе почвообразования лидирующее место. Благодаря таким функциям, как фиксация атмосферного азота, синтез органической массы, биогенное накопление минеральных веществ, повышается плодородие почвы.

**Цель исследований.** Выявить особенности таксономической организации цианобактериально-водорослевой флоры на начальных этапах освоения субстрата.

**Задачи исследований.** Выявить видовой состав водорослей и цианобактерий, провести таксономический анализ; на основании полученных данных выделить маркерные признаки, которые являются отражением инициальных процессов освоения субстрата.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводились в селе Карам Казачинско-Ленского района Иркутской области на протяжении 2011–2013 гг. В пределах данной территории была выделена катена, как основная пространственно-временная единица ландшафта (табл. 1), заложен геоботанический профиль протяженностью примерно 600 м, в пределах которого были определены 2 точки исследования в трансэлювиальном и аккумулятивном участках. Выделены серийные группировки типичной растительности: в трансэлювиальном участке – ветреницевая, в аккумулятивной – ветреницевая и лютиковая серийные группировки.

В аккумулятивной зоне, кроме *Anemone sylvestris* и *Ranunculus reptans*, которые являются доминантными видами, встречаются из травяно-кустарникового яруса *Vicia cracca* (L.), *Heracleum dissectum* (Lebed.), *Sanguisorba officinalis* (L.). Древесный ярус образуют такие виды, как *Populus alba* (L.). В трансэлювиальной зоне произрастают *Anemone sylvestris*, которая является доминантным видом, и *Taraxacum officinale* (Wigg.s.l.). Проективное покрытие от аккумулятивного участка к трансэлювиальному уменьшается. Прослеживается динамика абиотических факторов. Вверх по катене температура и pH почвы увеличиваются.

Таблица 1

#### Характеристика исследованного профиля

Параметр	Участок катены	
	Трансэлювиальный	Аккумулятивный
1	2	3
Нанорельеф	Трещины, выступы, ложбинки	Не выражен
Тип почв	Коричневые, слабоподзолистые	Коричневые, слабоподзолистые

1	2	3
pH <sub>сop.</sub>	7,7	7,5
t <sup>0</sup> , С	25,5-29,0	23,0-24,0
W, %	9	12
Серийные группировки	Ветреницевая	Лютиковая Ветреницевая
Доминантные виды	<i>Anemone sylvestris</i> (L.)	<i>Anemone sylvestris</i> (L.) <i>Ranunculus reptans</i> (L.)
Проективное покрытие, %	5	1. 10 2. 15

Отбор проб проводился в пределах выбранных серийных группировок высших растений с учетом всех правил альгологических сборов [Голлербах, Штина, 1969]. В целом было собрано 110 смешанных почвенных образцов, каждый из которых состоял из 10 индивидуальных проб объемом 10 см<sup>3</sup>. При сборе проб учитывался почвенный слой 0–5 см. Параллельно были отобраны пробы на влажность, реакцию среды. Влажность определяли расчетно-весовым методом.

Определение водорослей велось с использованием серии определителей [Определитель пресноводных ..., 1951; Голлербах, Косинская, Полянский 1951; Дедусенко-Щеглова, Голлербах, 1962]. Полученные материалы о видовом составе водорослей были размещены в сводные матрицы. Отделы расположены по системе, принятой в «Определителе пресноводных водорослей СССР». Виды расположены в алфавитном порядке. Флористический анализ проводился на видовом уровне. Таксономическая структура альгофлоры проанализирована с использованием классических работ А.И. Толмачева [Толмачев, 1974].

В трансэллювиальной части катены наблюдается выступ материнской породы, поэтому нанорельеф ярко выражен в виде трещин, выступов, ложбинок. Почвы по всей территории слабоподзолистые, относительно небогатые. Показатели температуры резко возрастают с продвижением вверх по катене (24–29°C). Можно предположить, что значительные колебания температуры связаны с невысоким процентом проективного покрытия. Влажность почв относительно постоянна на протяжении всего профиля и составляет порядка 9–10 %. Кислотность также остается практически неизменной и характеризует почвы как слабощелочные (7,4–7,7).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Всего в почвах исследованного профиля обнаружено 66 видов (69 видов и внутривидовых таксонов) водорослей и цианопрокариот, что сопоставимо с данными Г.Н. Перминовой и Т.А. Сафоновой, которые на каменистых субстратах Прибайкалья обнаружили 71 вид водорослей [Перминова, 1977; Сафонова, 2002]. Были выявлены виды почвенных водорослей и цианопрокариот в пределах исследованного профиля, которые относятся к 6 отделам, 12 порядкам, 21 семействам, 33 родам (табл. 2).

Таблица 2

#### Распределение основных таксонов цианопрокариот и водорослей в почвах исследованного профиля

Таксон	Порядок	Семейство	Род	Вид	Процент видов от всей флоры
<i>Bacillariophyta</i>	1	3	5	8	12,1
<i>Cyanoprokaryota</i>	3	8	15	39	59,1
<i>Chlorophyta</i>	3	4	4	8	12,1
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	1	1,5
<i>Xanthophyta</i>	3	4	7	9	13,6
<i>Rhodophyta</i>	1	1	1	1	1,5

С увеличением проективного покрытия высших растений вниз по катене число видов водорослей и цианопрокариот уменьшается. В работе Л.Н. Новичковой-Ивановой указан тот факт, что с увеличением высших растений ценотическая роль водорослей падает [Новичкова-Иванова, 1980]. Альгоценоз – это группировка, образованная только водорослями; в биотопах, которые они занимают, могут присутствовать единичные представители лишайников, мхов или цветковых растений, не играющих фитоценотической роли.

Альгоинузии связаны с фитоценозом и микросредой, которая создается ярусами господствующих здесь высших растений или всем растительным сообществом. Отсюда следует и определение альгосинузий как группировки водорослей, обитающей среди высших растений и составляющей часть фитоценоза, в который она входит пространственно обособленной, с определенным видовым составом и определенными взаимоотношениями видов друг с другом и со средой. Представители отдела *Cyanoprokaryota* составляют больше половины всего видового спектра (от 56,8 до 60,9 %).

Как уже отмечалось, цианопрокарियोты наиболее устойчивы к экстремальным условиям, благодаря чему способны быстро захватывать территорию [Благодатнова, Пивоварова, 2010]. Наличие мощных слизистых чехлов помогает этим организмам находиться в условиях с низкой влажностью [Зимонина, 1996]. Способность *Cyanoprokaryota* расти в условиях низких температур связывают в первую очередь с особенностями их ферментных белков и мембранных липидов. Увеличение в последних содержания ненасыщенных жирных кислот позволяет мембранам находиться в функционально активном жидкостно-кристаллическом состоянии при низких температурах. Некоторые представители цианобактерий имеют гетероцисты – клеточные включения, необходимые при недостатке связанного азота.

Высокий процент представителей отдела желто-зеленых водорослей, по мнению Р.Р. Кабирова, свидетельствует об антропогенно ненарушенных почвах [Кабиров, 2007]. Немаловажно преобладание отдела *Bacillariophyta*. Отдел красных водорослей представлен одним видом *Porphura leucosticta*, который характерен для горных экосистем [Голлербах, Косинская, Полянский ..., 1953].

Семейственный спектр водорослей и цианопрокарियोтов исследованного почвенного профиля представлен 21 семейством, из которых 6 ведущих составляют примерно 56 % от общего числа видов (табл. 3) и характеризует альго- и бактериофлору как бореальную [Толмачев, 1974]. При составлении ранжированного ряда первенство отдается тому семейству, в состав которого входит большее число родов.

Таблица 3

## Семейственный спектр цианобактериофлоры исследованного профиля

Семейство	Число видов	Процент от общего числа видов	Место	Число родов
<i>Microcystaceae</i>	14	21,2	1	6
<i>Nostocaceae</i>	5	7,6	2-3	1
<i>Schizothrichaceae</i>	5	7,6	2-3	1
<i>Phormidiaceae</i>	5	7,6	2-3	3
<i>Pseudoanabenaceae</i>	4	6,1	4-5	1
<i>Eunotiaceae</i>	4	6,1	4-5	1
<i>Nitzschiaceae</i>	3	4,5	6-7	3
<i>Pleurochloridaceae</i>	3	4,5	6-7	3
<i>Microchaetaceae</i>	3	4,5	6-7	1
<i>Heterocloniaceae</i>	3	4,5	6-7	2
Всего	49	74,2	-	22

На долю семейств отдела *Cyanoprokaryota* приходится около 59 % всего видового разнообразия. Лидирующие позиции занимает семейство *Microcystaceae*. По мнению Е.Н. Петровой, М.Д. Сивкова, представители семейства *Microcystaceae* принимают участие в начальных этапах освоения горно-тундровых почв [Петрова, Сивков, 2010]. В головном спектре семейств также лидируют семейства *Phormidiaceae* и *Pseudoanabenaceae*, которые обычно лидируют в арктических регионах [Патова, 2004]. Можно предположить, что исследованный профиль находится на начальных этапах освоения субстрата.

Важное значение в головном спектре альго- и цианофлоры аккумулятивного участка имеет семейство *Nitzschiaceae*. По мнению И.В. Стебаева и Ж.Ф. Пивоваровой, диатомовые являются биоиндикаторами кремния [Стебаев, Пивоварова, 1992]. Кроме того, представители семейства *Nitzschiaceae* характерны для водных экосистем [Голлербах, Косинская, Полянский ..., 1953]. В своих работах В.О. Таргульян и Т.А. Соколов ввели представление о «почве-памяти». Почва-память – совокупность устойчивых и консервативных свойств почвенного профиля, являющихся интегральным результатом действия факторов и процессов почвообразования в течение всего периода почвообразования (от нуля-момента до момента наблюдения); в эту совокупность входят свойства, имеющие большие характерные времена своего образования, и (или) свой-

ства, обладающие значительной устойчивостью (большим характерным временем стирания) [Таргульян, Соколов, 1978].

Можно предположить, что в весенний период, когда происходит поднятие воды и таяние снега, условия для развития представителей водных форм водорослей были благоприятны. Представители данного семейства в основном распространены в водных экосистемах, но они также устойчивы к иссушению почв [Пивоварова, Факторович, Благодатнова, 2012].

В родовом спектре 10 ведущих родов объединяют 37 видов, что составляет около 56 % всего видового списка (табл. 4), и диагностируют альго- и бактериофлору как бореальную [Толмачев, 1974]. Часть родов находится в связанных рангах. При построении ранжированных рядов в этом случае первенство отдается родам, виды которых проявляют большую (по отношению к сравниваемому таксону) ценотическую нагрузку. Этот подход применен в работах И.М. Красноборова, В.М. Шмитда [Красноборов, 1976; Шмитд, 1984].

Таблица 4

**Родовой спектр ведущих родов цианобактериофлоры исследованного профиля**

Род	Число видов	Процент от общего числа видов	Место
<i>Anabaena</i>	5	7,6	1-2
<i>Schizothrix</i>	5	7,6	1-2
<i>Leptolyngbya</i>	4	6,1	3-4
<i>Eunotia</i>	4	6,1	3-4
<i>Microcystis</i>	4	6,1	3-4
<i>Synechocystis</i>	3	4,5	5-6
<i>Tolypothrix</i>	3	4,5	5-6
<i>Chlamydomonas</i>	3	4,5	5-6
<i>Gloeocapsa</i>	3	4,5	5-6
<i>Chlorella</i>	3	4,5	5-6
Всего	37	56,0	-

Число лидирующих родов соотносится с данными И.Н. Егоровой и Е.А. Судаковой по Байкальской Сибири. По их мнению, на каменистых субстратах преобладают роды, представители которых способны выносить резкие перепады увлажненности, температуры, освещенности, поступления минеральных веществ [Егорова, Судакова, 2009].

С наибольшим числом видов во флоре превалирует род *Anabaena* и *Schizothrix*. По данным Т.А. Сафоновой, род *Schizothrix* встречается на каменистых степях со скальными выходами, на выветренных крупных карбонатных камнях [Сафонова, 2002]. Одно из лидирующих мест занимает род *Chlamydomonas*, типичный для лесной экосистемы. Высокий процент встречаемости представителей этого рода на исследованном участке говорит об активном биостоке с эллювиальной части катены. В лидирующем спектре родов высокое место занимает широко распространенный род *Eunotia* [Определитель пресноводных ..., 1951].

Одновидовые рода составляют около 26 % спектра всего видового состава. Высокий процент одновидовых родов также свидетельствует о начальных стадиях сукцессии, а следовательно, об аллохтонном процессе развития [Толмачев, 1974]. Большое число одновидовых родов также является отличительной чертой экосистем, находящихся в экстремальных условиях [Благодатнова, 2010]. На долю *Cyanoprokaryota* приходится больше половины всех одновидовых родов.

Интересен тот факт, что представители рода *Anabaena* в основном приурочены к водным экосистемам. Это еще раз подтверждает то, что почва способна сохранять информацию на протяжении длительного времени. Весеннее таяние снега и половодье способствовали развитию и процветанию рода *Anabaena*.

Таким образом, в зависимости от специфики условий среды определённого участка катены формируются в те или иные группировки водорослей и цианопрокариот. Отражением условий среды служит уникальность таксономического состава, различная степень фитоценотической нагрузки, а также соотношение морфотипов. В основе качественных различий лежит экологическая индивидуальность отдельных видов почвенных водорослей и цианопрокариот.

## Выводы

Полученные данные свидетельствуют о специфичности почвенно-экологических условий исследованного профиля, а также указывают на инициальные процессы освоения субстрата. Всего в почвах хребта Чан села Карам было зарегистрировано 66 видов (69 видов и внутривидовых таксонов) водорослей и цианопрокариот, которые относятся к 6 отделам, 21 семейству, 33 родам.

В процессе исследования профиля были выявлены маркерные признаки водорослей и цианопрокариот, которые могут указывать на инициальные процессы освоения субстрата: преобладание представителей отдела *Cyanoprokaryota* (59,1 %); преобладание семейств *Microcystaceae* (41,7 %); большое доленое участие в сложении спектра одновидовых семейств (35 %) и родов (26 %).

## Литература

1. *Благодатнова А.Г.* Использование почвенных водорослей в оценке земель, перспективных для рекультивации // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2010. – № 10. – С. 116–118.
2. *Благодатнова А.Г., Пивоварова Ж.Ф.* Почвенные водоросли мелиорированного болота // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 99–103.
3. *Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Синезеленые водоросли. – Л., 1953. – Вып. 1. – 200 с.
4. *Голлербах М.М., Штина Э.А.* Почвенные водоросли. – Л., 1969. – 142 с.
5. *Дедусенко-Щеглова Н.Т., Голлербах М.М.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Желтозеленые водоросли. – М.; Л., 1962. – Вып. 5. – 272 с.
6. *Егорова И.Н., Судакова Е.А.* Водоросли в наземных экосистемах Байкальской Сибири // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: мат-лы II Всерос. конф. (Сыктывкар, 5–9 окт. 2009 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ib.komisc.ru/add/conf/algo\\_2009](http://ib.komisc.ru/add/conf/algo_2009).
7. Определитель пресноводных водорослей СССР. Диатомовые водоросли / *М.М. Забелина, И.А. Киселев, А.И. Прошкина-Лавренко* [и др.]. – М., 1951. – Вып. 4. – 620 с.
8. *Кабиров Р.Р.* Использование альгологических критериев при экологическом прогнозировании антропогенной нагрузки на наземные экосистемы // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 3. – С. 21–29.
9. *Красноборов И.М.* Высокогорная флора Западного Саяна. – Новосибирск, 1976. – 380 с.
10. *Новичкова-Иванова Л.Н.* Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. – Л., 1980. – 255 с.
11. *Патова Е.А.* Cyanophyta в водоёмах и почвах восточноевропейских тундр // Ботан. журн. – 2004. – Т. 89. – № 9. – С. 1403–1418.
12. *Перминова Г.Н.* Водоросли как компонент фитоценозов естественных и сеяных лугов // Развитие и значение водорослей в почвах нечерноземной зоны. – Пермь, 1977. – С. 23–27.
13. *Петрова Е.Н., Сивков М.Д.* Цианобактерии криогенных пятен горно-тундровых почв // Автотрофные микроорганизмы. – М., 2010. – С. 80.
14. *Пивоварова Ж.Ф., Факторович Л.В., Благодатнова А.Г.* Особенности таксономической структуры почвенных фотоавтотрофов при освоении первичных субстратов // Растительный мир Азиатской России. – 2012. – Т. 1. – № 1. – С. 16–21.
15. *Сафонова Т.А.* Синезеленые водоросли (*Cyanoprokaryota*) на каменистых субстратах Прибайкалья // Turczaninovia. – 2002. – № 1. – С. 68–75.
16. *Стебаев И.В., Пивоварова Ж.Ф.* Возникновение и развитие биогеоценозов на скалах // Журн. общей биологии. – 1992. – Т. 53. – № 5. – С. 715–728.
17. *Толмачев А.И.* Введение в географию растений. – Л., 1974. – 244 с.
18. *Таргульян В.О., Соколов И.А.* Структурный и функциональный подход к почве: «почва-память» и «почва-момент» // Математическое моделирование в экологии. – М.: Наука, 1978. – С. 54–67.
19. *Шмидт В.М.* Математические методы в ботанике. – Л., 1984. – 156 с.