

УДК 574.47:579.26

Ж.Ф. Пивоварова, А.Г. Благодатнова,
З.З. Багаутдинова, А.Н. Кулятина

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНО-ВОДОРОСЛЕВОЙ ФЛОРЫ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ МОДЕЛЕЙ ПЕРВИЧНОГО ОСВОЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ

Анализ полученных данных о таксономической структуре цианобактериально-водорослевой флоры (северо-восток Азии, Предбайкалье, Западная Сибирь) позволяет судить о различном характере освоения субстратов (скальных пород и песчаного грунта). По мнению авторов, их вполне можно рассматривать как специфические натурные модели протекания автогенных сукцессий.

Ключевые слова: цианобактериально-водорослевая флора, скальные породы, песок, северо-восток Азии, Предбайкалье, Западная Сибирь.

Zh.F. Pivovarova, A.G. Blagodatnova,
Z.Z. Bagautdinova, A.N. Kulyatina

THE TAXONOMIC STRUCTURE OF CYANOBACTERIAL-ALGAL FLORA AS A POSSIBLE INDICATOR OF THE MODELS OF VARIOUS SUBSTRATE PRIMARY DEVELOPMENT

The analysis of the obtained data on the taxonomic structure of cyanobacterial-algal flora (north-east of Asia, Pred-Baikal Region, Western Siberia) allows to determine the different nature of the substrate (rock and sandy soil) development. According to the authors, they may well be regarded as a specific natural models of the autogenous succession passing.

Key words: cyanobacterial-algal flora, rocks, sand, north-east of Asia, Pred-Baikal Region, Western Siberia.

Введение. Вопросам изучения автогенных сукцессий уделяется достаточное внимание в научной литературе, однако они связаны в основном с высшими растениями и чаще всего посвящены исследованию этого процесса за рубежом, в Европейской России. В Азиатской России и в ближнем зарубежье таких работ крайне мало. Тем более их практически нет по низшим растениям, в частности, по участию цианобактерий и водорослей в процессе освоения грунтов различного типа. Исследования, связанные с изучением освоения экстремальных мест обитания позволяют моделировать возможные сценарии возобновления активной жизни после каких-либо катастроф (естественных или антропогенного происхождения), а со временем и освоения безжизненного пространства на Луне, Марсе [Кабиров, 2009].

Материалы и методы исследований. Научные работы проводились в различные временные отрезки. Были выбраны две группы участков. В первую группу вошли участки, на которых изучены процессы освоения цианобактериально-водорослевой флорой выходов материнских горных пород на северо-востоке Азиатской России на Яно-Оймяконском нагорье (перигляциальные четвертичные петрофитные степи южных склонов к рекам Нера, Яна на выходах гранитов) и в Предбайкалье (Казачинско-Ленский район Иркутской области на красноцветных карбонатно-силикатных отложениях). Все выбранные точки объединены общей судьбой – мощно развитыми процессами почвенного криогенеза. Во вторую группу были включены участки, подвергшиеся интенсивной добыче песка. Это подзона южной тайги Колыванского района Новосибирской области (вскрышные пески при их промышленной разработке) и окрестности г. Новосибирска (намывной песок при углублении фарватера р. Обь). При сборе и анализе материалов были использованы традиционные почвенно-альгологические методики.

Результаты исследований и их обсуждение. Определенный интерес представляет характер освоения субстратов разного типа скальных пород и песчаного грунта. Их вполне можно рассматривать как натурные модели протекания автогенных сукцессий. Однако есть определенная специфика освоения различного типа грунтов.

Модель освоения цианобактериально-водорослевой флорой скальных грунтов обследованных территорий северо-востока Азии в окрестностях села Карам Иркутской области привела к определенному заключению. Численное выражение таксономической структуры сравниваемых флор очень слабо отличается (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика таксономической структуры флоры на различных типах горных пород (северо-восток Азии и Предбайкалье)

Отдел	Порядок	Семейство	Род	Вид	% от флоры
<i>Cyanoprokaryota</i>	4/5*	9/10	17/12	30/26	71,1/61,9
<i>Bacillariophyta</i>	1/1	3/3	6/3	6/6	15,8/14,3
<i>Xanthophyta</i>	2/2	2/2	2/5	2/5	5,3/11,9
<i>Chlorophyta</i>	2/2	2/2	3/2	3/5	7,9/11,9
Всего	9/10	16/17	28/22	41/42	-
<i>Cyanoprokaryota</i>	4/5*	9/10	17/12	30/26	71,1/61,9
<i>Bacillariophyta</i>	1/1	3/3	6/3	6/6	15,8/14,3
<i>Xanthophyta</i>	2/2	2/2	2/5	2/5	5,3/11,9
<i>Chlorophyta</i>	2/2	2/2	3/2	3/5	7,9/11,9
Всего	9/10	16/17	28/22	41/42	-

*В числителе – северо-восток Азии, в знаменателе – Предбайкалье.

Таксономические единицы высоких рангов отличаются в пределах 1–5 единиц. Степень долевого участия в сложении флор обнаруживает те же тенденции, что характерны для экстремальных условий среды: явное превалирование цианопрокариот от более 70 % на северо-востоке Азии до 62 % в Предбайкалье. На уровне порядков эти отличия лучше выражены у цианобактерий. Общими являются 4 порядка: *Chroococcales*, *Nostocales*, *Oscillatoriales*, *Synechococcales*. Кроме того, в Предбайкалье отмечен пор. *Pseudanabaenales*, имеющий 2 семейства, 2 рода и 6 видов. Более резко отличается пор. *Chroococcales*, который на северо-востоке Азии объединяет 4 семейства, 6 родов и 13 видов против двух семейств, двух родов и только 6 видов в Предбайкалье. Это явно более обеднённый вариант таксономического разнообразия.

Семейственный спектр включает 23 семейства, из которых общих меньше половины (10 семейств, 43,5 % от всего спектра). Пять ведущих семейств во флоре Предбайкалья по долевого участию в 1,5 раза меньше включают в себя видов, чем на северо-востоке Азии (37,9 % против 58,6 %). Резко изменилось ранговое положение самих семейств (табл. 2).

Таблица 2

Семейственный спектр флоры на различных типах горных пород

Семейство	Северо-восток Азии		Предбайкалье	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
<i>Microcystaceae</i>	8	19,5	3	7,1
<i>Nostocaceae</i>	5	12,2	3	7,1
<i>Merismopediaceae</i>	4	9,8	3	7,1
<i>Naviculaceae</i>	4	9,8	1	2,3
<i>Cyanobacteriaceae</i>	3	7,3	3	7,1
<i>Phormidiaceae</i>	3	7,3	3	7,1
<i>Synechococcaceae</i>	3	7,3	-	-
<i>Chlamydomonadaceae</i>	1	2,4	3	7,1
<i>Eunotiaceae</i>	1	2,4	3	7,1
<i>Schizotrichaceae</i>	-	-	4	9,5
<i>Pleurochloridaceae</i>	-	-	3	7,1

Вместо доминирующего на выходах гранитов сем. *Microcystaceae* на северо-востоке Азии, в Предбайкалье с незначительным отрывом (всего в один вид) ведущим является сем. *Schizotrichaceae*, которое можно рассматривать как экологический викариат. Это возможно объяснить спецификой грунта, который представлен красноцветными карбонатно-силикатными отложениями. Большинство семейств идут в связанных рангах. Флоры практически имеют специфичными по 1/3 семейственного спектра (26,1 % для северо-востока

Азии и 30,4 % для Предбайкалья). Флора северо-востока Азии имеет 43,8 % одновидовых семейств, в то время как флора Предбайкалья только 9,4 %.

Родовой спектр представлен 42 родами, 9 из которых общие. Обращает на себя внимание, что 6 из 9 родов спектра являются представителями цианобактерий. Более половины *Cyanobacteria* относятся к безгетероцистным, колониальным или коккоидным морфотипам, имеющими, как правило, хорошо выраженную пектиновую слизь (табл. 3).

Таблица 3

Спектр ведущих родов флоры на различных типах горных пород

Род	Северо-восток Азии		Предбайкалье	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
<i>Microcystis</i>	4	9,75	3	7,1
<i>Gloeocapsa</i>	4	9,75	-	-
<i>Aphanothece</i>	3	7,3	3	7,1
<i>Synechocystis</i>	3	7,3	3	7,1
<i>Synechococcus</i>	3	7,3	-	-
<i>Chlamydomonas</i>	1	2,4	3	7,1
<i>Eunotia</i>	1	2,4	3	7,1
<i>Schizothrix</i>	-	-	4	9,5
<i>Anabaena</i>	-	-	3	7,1

Именно они являются пионерами заселения (эцезиса) скального грунта и лишь вторая волна вселенцев (сингенеза) представлена гетероцистными цианопрокариотами, в частности, видами родов *Nodularia*, *Cylindrospermum*, *Stigonema*, *Trichormus*, специфичными для северо-востока Азии, и *Leptolyngbya*, *Anabaena*, характерными для Предбайкалья. Многовидовых родов нет. Флора северо-востока Азии имеет 78,6 % (22 рода) одновидовых родов, в то время как флора Предбайкалья только 43,5 % (10 родов). Эти показатели свидетельствуют о более жестких условиях на Яно-Оймяконском нагорье северо-востока Азии и некоторых особенностях формирования флоры, связанной со спецификой осваиваемого грунта [Пивоварова, Факторович, Благодатнова, 2011]. Тем не менее это дает основание считать, что освоение скальных пород и формирование флоры соответствует аллохтонному типу.

Механизм освоения скальных пород, выраженный через таксономическую структуру цианобактериально-водорослевой флоры, вне зависимости от географического положения территории может быть идентифицирован как одна и та же натурная модель освоения субстрата [Стебаев, Пивоварова, 1995].

Другой моделью может служить освоение песчаного субстрата в окрестностях г. Новосибирска (намывные пески) и в Новосибирской области – вскрышные пески при их промышленной разработке (Колыванский район). Таксономическая структура этих флор достаточно отличается, особенно на уровне семейств и рангом ниже (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительная характеристика таксономической структуры флоры намывных и вскрышных песков

Отдел	Порядок	Семейство	Род	Вид	% от флоры
<i>Цианопрокариота</i>	4/3*	7/7	7/10	17/14	68,8/43,3
<i>Bacillariophyta</i>	0/1	0/1	0/3	0/3	0/10,0
<i>Xanthophyta</i>	0/2	0/4	0/6	0/6	0/20,0
<i>Chlorophyta</i>	3/3	5/6	5/7	8/9	32,0/26,7
Всего	7/9	12/18	12/25	25/32	-

*В числителе – намывные пески, в знаменателе – карьерные пески.

Общим является лидирующее положение на разных типах песков отделов *Cyanoprokaryota* (от 43 до 69 %) и *Chlorophyta* (от 26 до 32 %). Специфика – полное отсутствие в намывных песках отделов *Bacillariophyta* и *Xanthophyta*.

Наличие водорослей из отделов диатомовых и желто-зеленых в песчаном грунте Колыванского района связано с прилегающими лесными экосистемами. Богатая цианобактериальная и водорослевая флора местных лесов составляет базисное ядро формирующейся флоры вскрышных песков. Известно, что представители *Xanthophyta* характерны для лесных экосистем южной тайги. Намывные пески в окрестностях г. Новосибирска окружены автомагистралями. Это одна из причин бедности флоры. Эцезис с прилегающих территорий крайне затруднен, формирование цианобактериально-водорослевой флоры идет в основном за счет аборигенных видов [Пивоварова, Факторович, Благодатнова, 2011].

Интересен тот факт, что, несмотря на лидирующее положение отдела *Cyanoprokaryota*, первыми на песчаных субстратах поселяются именно широко распространенные виды-убиквисты из числа одноклеточных зеленых, устойчивые к антропогенному воздействию (*Chlamydomonasatactogama* Korsch., *Chlorococcuminfusionum* Schrank Menegh.). Эта тенденция характерна как для намывных, так и вскрышных песков. Соотношение *Cyanoprokaryota* к *Chlorophyta* составляет 2:1 и 1,5:1 соответственно, что явно лишний раз подчеркивает экстремальность условий среды. Другим показателем этих условий является отношение числа таксонов в пор. *Nostocales* и *Oscillatoriales*. На намывных песках в окрестностях г. Новосибирска число видов в пор. *Oscillatoriales* в 2 раза больше, чем в пор. *Nostocales*, в то время как на вскрышных песках этот показатель составляет всего 1,1. Порядок *Chroococcales* в намывных песках окрестностей г. Новосибирска является монотипным (включает в себя всего лишь по одному семейству, роду и виду), в то время как во флоре вскрышных песков этот порядок явно политипный и представлен 5 семействами, 6 родами и 7 видами.

Семейственный спектр включает 21 семейство, из которых общих меньше половины (9 семейств, 42,9 % от всего спектра). Лидирующие позиции в семейственном спектре принадлежат сем. *Nostocaceae*. Ранговое положение остальных семейств достаточно разнится (табл. 5).

Таблица 5

Семейственный спектр флоры на песчаных субстратах

Семейство	Намывные пески		Вскрышные пески	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
<i>Nostocaceae</i>	3	12,0	3	10,0
<i>Phormidiaceae</i>	3	12,0	2	6,7
<i>Pseudanabaenaceae</i>	3	12,0	-	-
<i>Chlorococcaceae</i>	2	8,0	3	10,0
<i>Cyanobacteriaceae</i>	2	8,0	2	6,7
<i>Chlorellaceae</i>	2	8,0	2	6,7
<i>Chlamydomonadaceae</i>	2	8,0	1	3,3
<i>Scytonemataceae</i>	2	8,0	-	-
<i>Microcystaceae</i>	1	4,0	3	10,0
<i>Naviculaceae</i>	-	-	3	10,0

Флора намывных песков имеет 25 % (3 семейства) одновидовых семейств, в то время как флора вскрышных песков более половины всей флоры (10 семейств, 55,6 %). Свидетельством того, что семейственная структура может быть отражением экологических условий является наличие в числе ведущих семейств *Nostocaceae*, *Phormidiaceae*, *Chlorococcaceae* и *Chlorellaceae*. Представители этих семейств достаточно хорошо дополняют друг друга в общей организации пробиогеоценозов, занимая всевозможные экологические ниши [Благодатнова, 2014]. Среди представителей семейств есть все морфотипы от коккоидных (*Chlorellaceae*), колониальных (*Nostocaceae*, *Microcystaceae*) до разной степени интеграции в пучки, жгуты нитчатых морфотипов (*Phormidiaceae*, *Scytonemataceae*). Именно виды трихальной морфоструктуры, обладающие слизистыми чехлами и способные к перемещению, начинают заселять субстрат после одноклеточных коккоидных зеленых водорослей [Багаутдинова, 2014].

Родовой спектр представлен 33 родами, 7 из которых общие (21,2 % от родового спектра). Специфичных родов во флоре песков 26 (78,8 %). Специфичные одновидовые рода во флоре намывных песков представлены цианопроکاریтами (*Trichormus*, *Symplocastrum*) и зелеными водорослями (*Bracteococcus*, *Tetracystis*). В то время как для флоры вскрышных песков более характерны одновидовые роды из отдела желто-зеленых (*Monodus*, *Bumilleriopsis*, *Heterothrix*) и диатомовых водорослей (*Pinnularia*, *Gomphonema*, *Navicula*). Именно представители этих родов (неустойчивых к высоким температурам, недостаточному увлажнению) в последнюю очередь заселяют песчаные субстраты. Одновидовых родов во флоре намывных песков 64,3 % (9 родов), а вскрышных песков 84,6 % (22 рода). Спектр включает исключительно маловидовые роды. Это дает основание считать, что освоение песчаных субстратов и формирование флоры соответствует аллохтонному типу.

Другой спецификой родового спектра является смена лидирующих позиций родов. Во флоре намывных песков ведущие позиции занимают представители гетероцистных цианопрокариот родов *Nostoc* и *Leptolyngbya*. Для вскрышных песков *Nostoc* сохраняет лидирующую позицию. Однако в связанных рангах вместе с ним находятся колониальные морфоструктуры цианопрокариот из родов *Aphanothece*, *Gloeocapsa*, а также одноклеточные представители рода *Chlorococcum* (табл. 6)

Таблица 6

Спектр ведущих родов флоры песчаных субстратов

Род	Намывные пески		Вскрышные пески	
	Число видов	% от общего числа видов	Число видов	% от общего числа видов
<i>Nostoc</i>	4	16,0	2	6,7
<i>Leptolyngbya</i>	4	16,0	-	-
<i>Phormidium</i>	3	12,0	1	3,3
<i>Scytonema</i>	3	12,0	-	-
<i>Chlamydomonas</i>	2	8,0	1	3,3
<i>Chlorococcum</i>	1	4,0	2	6,7
<i>Aphanothece</i>	-	-	2	6,7
<i>Gloeocapsa</i>	-	-	2	6,7

В то же время обращает на себя внимание наличие в намывных песках представителей зеленых водорослей (*Chlamydomonas*, *Chlorococcum*), одними из первых осваивающих песчаные субстраты, и отсутствие в головном спектре представителей диатомовых и желто-зеленых водорослей.

Роль водорослей на песках многогранна. Прежде всего, это их участие в фиксации подвижной поверхности песков. Известно, что длина нитей только цианобактерий может достигать 177 м/г песчаного грунта [Маркова, 1976], являясь хорошим фактором закрепления песка. В этом процессе наиболее велико значение нитчатых форм, особенно представителей родов *Phormidium*, *Schizotrix*, *Plectonema*. Кроме того, велика азотфиксирующая роль цианопрокариот. По данным [Панкратова, 2000], количество мобилизуемого азота составляет от 14,6 до 40 % азота, внесенного в почву с инокулятом. Участие водорослей в снабжении высшего растения азотом составляет около 15 %. Следует отметить и образование мортмассы в результате интенсивного отмирания водорослей и цианопрокариот, что способствует началу почвообразовательных процессов.

Следовательно, на первых этапах освоения песчаного субстрата появляются одноклеточные виды убиквисты из отдела зеленых водорослей, а затем встраиваются как нитчатые, так и колониальные цианопрокариоты, образующие обильную слизь. Только потом в уже сложившихся благоприятных условиях внедряются азотфиксирующие цианопрокариоты, диатомовые и нитчатые желто-зеленые водоросли.

Заключение. Таким образом, в экстремальных почвенно-экологических условиях как на горных породах, так и на песках, цианобактерии и водоросли, будучи г-стратегами, являются основной группой фотоавтотрофов и формируют самостоятельные пробиогеоценозы, что соответствует классическим моделям автогенных сукцессий. В то же время имеется четкая субстратоспецифичность (будь то горные породы или песчаный грунт), одной из особенностей которой является организация таксономической структуры.

Литература

1. Багаутдинова З.З. Фитоценотическая организация почвенных водорослей в подзоне южной тайги Западной Сибири // Вестн. НГПУ. – 2014 [Электронный ресурс] // <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1402.15>.
2. Благодатнова А.Г. Цианобактериально-водорослевые ценозы как отражение палеоэкологической специфики почв голоцена // Вестн. НГПУ. – 2014 [Электронный ресурс] // <http://dx.doi.org/10.15293/2226-3365.1402.14>.
3. Кабиров Р.Р. О возможности использования водорослей при создании искусственных экосистем и биосфер на других планетах // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге: мат-лы 1-й Всерос. конф. (Сыктывкар, 5–9 окт. 2009 г.) [Электронный ресурс] // http://ib.komisc.ru/add/conf/algo_2009.
4. Маркова Г.И. Биомасса почвенных водорослей в некоторых типах растительности ущелья реки Варзоб: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Душанбе, 1976. – 23 с.
5. Панкратова Е.М. Азотфиксирующие цианобактерии как основа микробных консорциумов // Автотрофные микроорганизмы: мат-лы Междунар. науч. конф. – М., 2000. – С. 140.
6. Пивоварова Ж.Ф., Факторович Л.В., Благодатнова А.Г. Особенности таксономической структуры почвенных фотоавтотрофов при освоении первичных субстратов // Растительный мир Азиатской России. – 2011. – № 4. – С. 95–102.
7. Стебаев И.В., Пивоварова Ж.Ф. Возникновение и развитие биогеоценозов на скалах // Журнал общей биологии. – 1995. – № 5. – С. 715–729.



УДК 581.5:581.19:633.34

Г.С. Выскварка, Е.А. Семенова,
О.А. Селихова, П.В. Тихончук

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ И УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ОКСИДОРЕДУКТАЗ СЕМЯН СОИ

В статье рассматривается процесс хранения семян сои в условиях типового склада и лаборатории, влияющий на снижение активности пероксидазы и каталазы. По данным авторов, корреляционная зависимость между посевными качествами семян сои, их интенсивностью дыхания и активностью ферментов положительная средней силы.

Ключевые слова: соя, семена, пероксидаза, каталаза, энергия прорастания, лабораторная всхожесть, интенсивность дыхания.

G.S. Vyskvarka, E.A. Semenova,
O.A. Selikhova, P.V. Tikhonchuk

THE INFLUENCE OF THE STORAGE TERMS AND CONDITIONS ON THE ACTIVITY OF SOME SOYBEAN SEED OXIDE-REDUCTASES

The process of the soybean seed storage in the conditions of the standard warehouse and the laboratory, influencing on the decrease in the peroxidase and catalase activity is considered in the article. According to authors, the correlation dependence between the soybean seed sowing qualities, their breath intensity and the enzyme activity is positive and of average force.

Key words: soybean, seeds, peroxidase, catalase, germination energy, laboratory germination, breath intensity.

Введение. Соя относится к группе мезобиотиков, семена которых сохраняют всхожесть от трех до пятнадцати лет. Ранее было установлено, что хозяйственная долговечность исследованных нами сортов сои амурской селекции составляет не более трех лет [2]. Длительное хранение семян сои связано с определенными трудностями, так как они содержат много белка и жира и обладают повышенной гигроскопичностью.