

УДК 58+581.6

doi: 10.21685/2307-9150-2024-2-4

Особенности распределения цианобактериально-водорослевой флоры в пределах горной катены

Ж. Ф. Пивоварова¹, З. З. Багаутдинова², А. Г. Благодатнова³

^{1,3}Новосибирский государственный педагогический университет,
Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

¹pivovarova4117@mail.ru, ²zulfir-a@yandex.ru, ³ablagodatnova@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* Цианобактериально-водорослевая флора горных систем Сибири еще относительно слабо изучена. Тем более нет работ по особенностям ее формирования в пределах горных катен. Целью работы является выяснение особенностей формирования цианобактериально-водорослевой флоры в пределах горных катен. *Материалы и методы.* Исследования проведены в течение 2011–2013 гг. в окрестностях села Карам Казачинско-Ленского района Иркутской области, расположенного в пределах Северо-Байкальского и Патомского нагорий. На данной территории выделена катена протяженностью около 600 м. В трансэллювиальной части катены наблюдаются выходы материнской породы, каменистые россыпи. В аккумулятивном участке нанорельеф почти не выражен, хорошо оформлены две синузии ветреннищевая и лютиковая. Сбор проб проведен по общепринятой альгологической методике. Анализ флоры вели с учетом видов и внутривидовых таксонов, с использованием коэффициента Чекановского – Серенсена и мер включения. *Результаты.* Всего в почвах исследованного профиля обнаружен 61 вид (69 видов и внутривидовых таксонов) водорослей и цианопрокариот, относящихся к 6 отделам, 12 порядкам, 21 семейству и 33 родам. Высокий процент числа видов в десяти ведущих семействах свидетельствует минимум как о бореальном характере флоры. Анализ флоры показал аллохтонный характер аккумулятивного участка катены и автохтонность трансэлюевой флоры. *Выводы.* Катена как геохимический стоковый бассейн, обладая различными экологическими условиями на отдельных ее участках, существенным образом влияет на формирование цианобактериально-водорослевой флоры.

Ключевые слова: почвенные водоросли, почвенная флора, цианобактерии, катена, Восточная Сибирь

Финансирование: работа поддержана бюджетным проектом FWNR-2022-0020.

Для цитирования: Пивоварова Ж. Ф., Багаутдинова З. З., Благодатнова А. Г. Особенности распределения цианобактериально-водорослевой флоры в пределах горной катены // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 2. С. 48–60. doi: 10.21685/2307-9150-2024-2-4

The features of cyanobacterial-algal flora distribution within the mountain catena

Zh.F. Pivovarova¹, Z.Z. Bagautdinova², A.G. Blagodatnova³

^{1,3}Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

¹pivovarova4117@mail.ru, ²zulfir-a@yandex.ru, ³ablagodatnova@yandex.ru

© Пивоварова Ж. Ф., Багаутдинова З. З., Благодатнова А. Г., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Abstract. *Background.* The cyanobacterial-algal flora of the mountain systems in Siberia is still relatively poorly studied. Furthermore, there is a lack of research on the characteristics of its formation within mountain catena. The purpose of this study is to research the peculiarities of the formation of cyanobacterial-algal flora within mountain catena. *Materials and methods.* The research was conducted during the period of 2011–2013 in the vicinity of the village of Karam in the Kazachinsko-Lensky district of Irkutsk region, located within the North Baikal and Patom Highlands. In this area, a catena, approximately 600 meters long, has been identified. In the transeuvial part of the catena, there are outcrops of the parent rock as well as stony deposits. In the accumulative section, the micro-relief is almost not expressed, with well-defined two sinuosity – windward and lee. Sample collection was carried out according to the standard algological methodology. The flora analysis was conducted considering species and infraspecific taxa, using the Czekanowski-Sorensen coefficient and inclusion measures. *Results.* In total of 61 species (69 species and infraspecific taxa) of algae and cyanobacteria belonging to 6 divisions, 12 orders, 21 families, and 33 genera were found in the soils of the studied profile. A high percentage of the number of species within the top ten leading families indicates the boreal nature of the flora. The analysis of the flora indicated the allochthonous nature of the flora in the accumulated section of the catena and the autochthony of the flora in the transeuvial part. *Conclusions.* The catena, as a geochemical drainage basin, with varying ecological conditions in its individual sections, significantly influences the formation of cyanobacterial-algal flora.

Keywords: soil algae, soil flora, cyanobacteria, catena, Eastern Siberia

Financing: the research was financed by the project FWNR-2022-0020.

For citation: Pivovarova Zh.F., Bagautdinova Z.Z., Blagodatnova A.G. The features of cyanobacterial-algal flora distribution within the mountain catena. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(2):48–60. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-2-4

Введение

Вопросам изучения почвенных водорослей в России уделяется достаточное внимание. Не считая многочисленных статейных материалов, есть монографические работы по водорослям экосистем Крайнего Севера [1], зональных почв степи и лесостепи [2], цианобактерий Арктики и Субарктики [3] и ряд других работ. Среди статей следует особо отметить работу Л. Н. Новичковой-Ивановой (2012) [4], где дан глубокий анализ альгофлоры почв и ее генезис Степной области Евразии. Однако по Сибирскому региону такого рода работ крайне мало. В 1975 г. появляются работы по почвенным водорослям Таймыра [5] степных районов Прибайкалья [6], наземных экосистем Байкальской Сибири [7]. Впервые проведено альгологическое изучение карбонатного и силикатного каменистого субстрата Приольхонья и хребта Хамар-Дабана в Прибайкалье [8] и ряд других статей. Тем более таких работ крайне мало по почвенным водорослям горных экосистем. Фундаментальное монографическое исследование проведено Л. Н. Новичковой-Ивановой (1980) [9] в сопредельной Сахаро-Гобийской пустынной области (с крайне суровыми экологическими условиями) с глубоким анализом флоры и фитоценотической организации почвенных группировок, с установлением возможных генетических связей. Коллективом авторов [10] опубликовано интересное многоаспектное монографическое исследование останца Ончалаан как натурной модели формирования биогеоценозов стоковых ландшафтов Убсунурской котловины Тувы. Многолетние исследования Ж. Ф. Пивоваровой (2019а) [11] позволили на основе ботанико-географического районирования горных криоаридных степей Северо-Востока

Азии, гор юга Сибири и сопредельных горных территорий выяснить специфику альгофлоры столь обширных регионов и возможные пути флорогенеза. Все вышеизложенное позволяет заключить, что еще много неисследованных регионов, к числу которых относится и Казачинско-Ленский район Иркутской области, где авторы подошли к исследованию с позиций катенного распределения альгофлоры и цианопрокариот.

Материалы и методы

Исследования проведены в окрестностях села Карам Казачинско-Ленского района Иркутской области с 2011 по 2013 г. Территория находится в основном в пределах Северо-Байкальского и Патомского нагорий, разделенных долиной реки Витим, правого притока Лены в пределах таежной зоны. Весь регион находится в зоне резко континентального климата с широко развитыми процессами почвенного криогенеза. Из-за устойчивых низких зимних температур и почти полного отсутствия снега развивается многолетняя мерзлота. Средняя температура июля $+16...+18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Почти вся годовая сумма осадков (около 400 мм) выпадает летом в виде фронтальных дождей и влаги, испарившейся с поверхности Байкала. Регион расположен в зоне темнохвойной тайги с преобладанием еловых (*Picea obovata* Ledeb.) и кедровых (*Pinus sibirica* DuRoi) лесов. Реже встречаются лиственничные (*Larix sibirica* Ledeb.) и сосновые светлых хвойных лесов (*Pinus sylvestris* L.). По горам могут встречаться березовые леса [12]. На исследуемой территории в пределах горного склона северной экспозиции выделена катена, как основная пространственно-функциональная единица ландшафта. Заложен геоботанический профиль протяженностью примерно 600 м, на котором выделено два участка. Плакорный, элевый участок, к сожалению, по техническим причинам обследовать не удалось. Следующий вниз по катене расположен трансэлювиальный участок на слабоподзолистых относительно бедных почвах с выходом коренных пород и каменистых россыпей. В пределах трансэлювиального участка катены сформирован еловый лес с редкой примесью березы. Травяной покров представлен ветреницевой группировкой с ОПП около 5 %. В аккумулятивной зоне катены на торфяно-подзолистых почвах были выделены две группировки: ветреницевая и лютиковая с ОПП около 10–15 %. Кроме *Anemone sylvestris* L. и *Ranunculus reptans* L., которые являются доминантными видами, встречаются *Vicia cracca* L., *Heracleum dissectum* Lebed., *Sanguisorba officinalis* L. В трансэлювиальной зоне катены температура почвы в среднем около $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в аккумулятивной зоне – около $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Почвы достаточно сухие с резким дефицитом влаги (9–10 %). Ph солев. 7,9 в трансэлювиальной зоне и 7,4 – в аккумулятивной. В целом экологические условия для развития как высшей растительности, так и водорослей весьма суровые [12].

Почвенные пробы для определения видового состава водорослей отбирались в течение 2 лет. Отбор проб проводили в пределах выбранных серийных группировок высших растений в слое 0–5 см с учетом всех правил альгологических сборов [1, 13–15]. Всего было собрано 110 смешанных почвенных образцов с разных местообитаний, каждый из которых состоял из 10 индивидуальных проб объемом 10 см^3 .

Флористический анализ вели с учетом видов и внутривидовых категорий. Таксономическая структура альгофлоры проанализирована с использованием классических работ [16]. При сравнении флористических списков использовали коэффициент Чекановского – Серенсена и для разновеликих флор меры включения [17].

Результаты и обсуждение

Всего в почвах исследованного профиля обнаружен 61 вид (69 видов и внутривидовых таксонов) водорослей и цианопрокариот. Анализ цианобактериально-водорослевой флоры высших категорий таксономической структуры позволил сделать некоторое заключение (табл. 1). Ведущее место в структуре флоры занимают представители отдела *Cyanoprokaryota*, включая в себя значительно больше половины всего видового спектра флоры. Этот же отдел является и наиболее дифференцированным относительно представленности семейств и родов. Три других отдела *Xanthophyta*, *Bacillariophyta* и *Chlorophyta* находятся на паритетной основе, включая в себя более третьей части всей флоры.

Таблица 1

Таксономическая структура цианобактериально-водорослевой флоры в почвах исследованного профиля

Таксон	Порядков	Семейств	Родов	Видов	% видов от всей флоры	Пропорции флоры**		
						1	2	3
<i>Bacillariophyta</i>	1	3	5	8	11,6	1,7	2,7	2,7
<i>Cyanoprokaryota</i>	3	8	15	34 (42)*	60,9	1,9	5,3	2,8
<i>Chlorophyta</i>	3	4	4	8	11,6	1,0	2,0	2,0
<i>Euglenophyta</i>	1	1	1	1	1,4	1,0	1,0	1,0
<i>Xanthophyta</i>	3	4	7	9	13,1	1,8	2,3	1,3
<i>Rhodophyta</i>	1	1	1	1	1,4	1,0	1,0	1,0
Всего	12	21	33	61 (69)	100	1,4	2,4	1,8

П р и м е ч а н и я: * здесь и далее в скобках указано число видов и внутривидовых таксонов; за скобками – число видов; ** в пропорциях флоры: 1 – насыщенность семейств родами; 2 – семейств видами; 3 – родов видами.

В пропорциях флор по насыщенности семейств родами каждый из отделов *Bacillariophyta*, *Cyanoprokaryota* и *Xanthophyta* практически в два раза превышают остальные отделы. По насыщенности семейств видами отдел *Cyanoprokaryota* значительно превышает все остальные отделы.

Спектр порядков в отделах флоры носит более ровный характер и представлен 1 или 3 порядками. Основу спектра порядков составляют представители цианопрокариот (табл. 2).

Первые три ведущих порядка *Oscillatoriales*, *Chroococcales*, *Nostocales* составляют более 60 % всей флоры (60,8 %), что характерно как для высоких широт, так и для экстремальных мест обитания, почв, подверженных криогенезу. Порядки *Chroococcales* и *Nostocales* отмечены как ведущие в почвах горных тундр Северного Урала [18] моновидовых порядков 33 %.

Таблица 2

Спектр порядков цианобактериально-водорослевой флоры исследованного профиля

Порядки	Место	Число видов и внутривидовых таксонов	% от всей флоры
<i>Oscillatoriales</i>	1	14 (17)	24,6
<i>Chroococcales</i>	2	12 (15)	21,7
<i>Nostocales</i>	3	8 (10)	14,5
<i>Raphales</i>	4	8	11,6
<i>Heterococcales</i>	5	5	7,2
<i>Chlorococcales</i>	6	4	5,8
<i>Chlamydomonadales</i>	7–8	3	4,3
<i>Heterocloniales</i>	7–8	3	4,3
<i>Euglenales</i>	9–12	1	1,5
<i>Tribonematales</i>	9–12	1	1,5
<i>Zygnematales</i>	9–12	1	1,5
<i>Bangiales</i>	9–12	1	1,5
Всего		69	100

Семейственный спектр водорослей и цианопрокариот исследованного почвенного профиля представлен 21 семейством, из которых 30 % (7 семейств) являются одновидовыми. Это характеризует флору как относительно бедную. 6 ведущих семейств составляют примерно 56 %, а 10 ведущих семейств – 75,0 % от общего числа видов (табл. 3). При составлении ранжированного ряда первенство отдается тому семейству, в состав которого входит большее число родов [19].

Таблица 3

Спектр ведущих семейств цианобактериально-водорослевой флоры исследованного профиля

Семейство	Число видов	% от общего числа видов	Место	Число родов
<i>Microcystaceae</i>	12 (15)	21,7	1	6
<i>Nostocaceae</i>	4 (6)	8,7	2	1
<i>Phormidiaceae</i>	4 (5)	7,2	3–5	3
<i>Schizothrichaceae</i>	5	7,2	3–5	1
<i>Pseudoanabenaceae</i>	3 (5)	7,2	3–5	1
<i>Eunotiaceae</i>	4	5,8	6	1
<i>Nitzschiaceae</i>	3	4,3	7–8	3
<i>Pleurochloridaceae</i>	3	4,3	7–8	3
<i>Heterocloniaceae</i>	3	4,3	7–8	2
<i>Chlamydomonadaceae</i>	3	4,3	7–8	1
Всего	44 (52)	75,0		22

Из 10 ведущих семейств на долю отдела Cyanoprokaryota приходится более половины видов. Лидирующие позиции со значительным отрывом от остальных занимает семейство *Microcystaceae*. Известно, что *Nostocaceae*, *Schizothrichaceae*, *Nitzschiaceae*, *Pleurochloridaceae*, *Chlamydomonadaceae* спектра ведущих семейств исследованного профиля также входят в состав

почв Большеземельской тундры [18]. Семейства *Phormidiaceae* и *Pseudoanabaenaceae*, как отмечает Е. А. Патова [20], обычно лидируют в арктических регионах. Высокое положение семейств *Nostocaceae*, *Schizothrichaceae* характерно для горных лесных, степных экосистем [13, 21, 22]. По мнению Е. Н. Петровой, М. Д. Сивкова [23] представители семейства *Microcystaceae* принимают участие в начальных этапах освоения горно-тундровых почв. Сравнение ведущих порядков и семейств исследованного профиля и выше перечисленных регионов позволяет провести некоторую аналогию. Можно предположить, что исследованный горный профиль с достаточно суровыми экологическими условиями находится на начальных этапах освоения субстрата цианобактериально-водорослевой флорой [24, 25]. Высокий процент числа видов в десяти ведущих семействах свидетельствует минимум как о бореальном характере флоры.

В родовом спектре 10 ведущих родов объединяют 39 видов, что составляет около 56 % всего видового списка (табл. 4) и диагностирует цианобактериально-водорослевую флору как бореальную, не только на семейственном, но и на родовом уровне [16].

Таблица 4

Спектр ведущих родов цианобактериально-водорослевой флоры исследованного профиля

Род	Число видов	% от общего числа видов	Место
<i>Anabaena</i>	4 (6)	8,7	1
<i>Schizothrix</i>	5	7,2	2–3
<i>Leptolyngbya</i>	3 (5)	7,2	2–3
<i>Eunotia</i>	4	5,8	4–5
<i>Microcystis</i>	3 (4)	5,8	4–5
<i>Synechocystis</i>	3	4,3	6–10
<i>Tolypothrix</i>	3	4,3	6–10
<i>Chlamydomonas</i>	3	4,3	6–10
<i>Gloeocapsa</i>	3	4,3	6–10
<i>Chlorella</i>	3	4,3	6–10
Всего	34 (39)	56,2	

Часть родов находится в связанных рангах. При построении ранжированных рядов в этом случае первенство отдано родам, виды которых несут (по отношению к сравниваемому таксону) большую фитоценотическую нагрузку. Этот подход применен в работах по высшим растениям И. М. Красноборовым [26], В. М. Шмитдом [27], по водорослям Ж. Ф. Пивоваровой [22, 28].

С точки зрения анализа флор высших растений такая насыщенность видами родов рассматривается как рода олиговидовые. Однако в горных экосистемах в экстремальных условиях для водорослевой флоры рода, содержащие 5–6 видов, могут рассматриваться как многовидовые. С наибольшим числом видов во флоре преобладают растения родов *Anabaena*, *Schizothrix* и *Leptolyngbya*, объединяя почти четверть всего видового состава флоры. Одновидовые рода составляют 48,5 % всего родового спектра. Высокий процент одновидовых родов также свидетельствует, с одной стороны, о начальных стадиях сукцессии (эцезисе), а с другой – об аллохтонном процессе формирования флоры водорослей [16]. Большое число одновидовых родов также является

отличительной чертой экосистем, находящихся в экстремальных условиях [1, 4, 11, 18, 29].

Таким образом, для таксономической структуры цианобактериально-водорослевой флоры исследованного профиля характерно превалирование видов отдела Cyanoprokaryota, высокий процент одновидовых семейств и родов свидетельствует об аллохтонном характере образования флоры катены и о достаточно молодом ее возрасте [16], доминировании семейства *Microcystaceae*, родов *Anabaena*, *Schizothrix* и *Leptolyngbya*, включающих в себя почти четверть всей флоры. В пределах каждой позиции катены, вероятно, таксономическая структура альгофлоры будет иметь свою специфику.

Рассматривая в сравнительном аспекте таксономическую структуру флоры в пределах катены, следует отметить ряд особенностей. Число таксономических единиц, таких как порядков, семейств и родов, практически одинаково (табл. 5).

Таблица 5

Таксономический состав цианобактериально-водорослевой флоры исследованного профиля

Участок катены	Порядок	Семейство	Род	Вид
Трансэлювиальный	9	16	24	44 (47)
Аккумулятивный	10	17	25	33 (38)

Однако в аккумулятивной зоне обнаружены все шесть отделов почвенной флоры. Значительно отличается число видов и их представленность. С увеличением проективного покрытия высших растений вниз по катене число видов водорослей и цианопрокариот уменьшается. В работе Л. Н. Новичковой-Ивановой [9] указан тот факт, что с увеличением проективного покрытия высших растений конкурентная роль водорослей падает. На том и другом отрезке катены ведущую роль сохраняют цианопрокариоты, причем, как и следовало ожидать, на трансэлювиальном участке их долевое участие в сложении флоры значительно выше (табл. 6).

Таблица 6

Соотношение отделов водорослей и цианопрокариот в почвах исследованного профиля

Отдел	Трансэлювиальный		Аккумулятивный	
	число видов	% от флоры	число видов	% от флоры
Cyanoprokaryota	26 (29)	61,7	18 (22)	57,9
Bacillariophyta	7	14,9	5	13,2
Xanthophyta	6	12,8	6	15,8
Euglenophyta	—	—	1	2,6
Chlorophyta	5	10,6	3	7,9
Rhodophyta	—	—	1	2,6
Всего	44 (47)	100	33 (38)	100

Это вполне объяснимо тем, что трансэлювиальный участок катены отличается более экстремальными условиями обитания: есть выходы материнских

пород, наличие каменистых россыпей, относительно суше и прогрев поверхности субстрата выше.

Весьма показателен спектр ведущих семейств, сравниваемых участков катены (табл. 7). Пять ведущих семейств на трансэлювиальном и аккумулятивном участке катены объединяют от 24 до 20 видов флоры, что составляет от 50,0 до 52,7 % соответственно. Одновидовых семейств в трансэлювиальной зоне всего 6,5 %, а в аккумулятивной – почти 11 %.

Таблица 7

Спектр ведущих семейств цианобактериально-водорослевой флоры исследованных участков катены

Семейство	Участок катены	
	трансэлювиальный	аккумулятивный
<i>Microcystaceae</i>	9 (19,1)	9 (23,7)
<i>Schizothrichaceae</i>	5 (10,6)	1 (2,7)
<i>Phormidiaceae</i>	4 (8,5)	1 (2,7)
<i>Nitzschiaceae</i>	3 (6,4)	3 (7,9)
<i>Pseudoanabenaceae</i>	3 (6,4)	3 (7,9)
<i>Nostocaceae</i>	1 (6,5)	4 (10,5)
<i>Heterocloniaceae</i>	2 (4,3)	2 (5,3)

Список ведущих семейств практически идентичный, с явным превалированием семейства *Microcystaceae* на том и другом участке катены. Остальные семейства только меняют свое положение в ранжированном ряду. Следует отметить явное лидерство в трансэлювиальной зоне еще и семейства *Schizothrichaceae* и только его присутствие в аккумулятивной зоне катены. Эти два семейства (*Microcystaceae*, *Schizothrichaceae*) являются обычными для экстремальных мест обитания, для горных систем, на каменистых субстратах. Кроме того, по данным Н. М. Зимониной [30], многие виды *Nitzschiaceae* участвуют в формировании водорослевых группировок голого грунта. Таким образом, спектр ведущих семейств достаточно хорошо отражает специфику субстрата.

Спектр ведущих родов (за исключением рода *Gloeocapsa*) тоже весьма сходен (табл. 8).

Пять ведущих родов включают немного больше одной трети флоры на каждом участке катены.

Таблица 8

Спектр ведущих родов цианобактериально-водорослевой флоры исследованных участков катены

Род	Участок катены	
	трансэлювиальная	аккумулятивная
<i>Schizothrix</i>	5 (10,9)	1 (2,7)
<i>Leptolyngbya</i>	3 (6,5)	3 (8,1)
<i>Anabaena</i>	3 (6,5)	3 (8,1)
<i>Synechocystis</i>	3 (6,5)	2 (5,4)
<i>Microcystis</i>	3 (6,5)	1 (2,7)
<i>Gloeocapsa</i>	–	3 (8,1)

Явно отличается положение рода *Schizothrix* в трансэлювиальном участке катены, что вполне соответствует экологическим условиям среды. Интересно другое. Число одновидовых родов резко отличается. На трансэлювиальном участке катены их 9, что составляет 37,5 %, в то время как на аккумулятивном участке их 19 – практически в 2 раза больше (70 %).

Это позволяет сделать вывод о том, что цианобактериально-водорослевая флора аккумулятивного участка катены аллохтонного происхождения. Она формируется за счет тройного стока (твердого, жидкого и биостока) с вышележащих участков катены. Катена в данной ситуации действительно представляет собой биогеохимический стоковый бассейн [31].

На видовом уровне связь цианобактериально-водорослевых флор исследованных участков катены проявляет определенную степень общности и специфичности. Так, только в трансэлювиальном участке катены обнаружен 31 вид, в то время как в аккумулятивной зоне – 22. Общих для той и другой флоры 15 видов. Коэффициент общности Чекановского – Серенсена составил 56,6 % – фактически чуть больше половины флоры. Специфика флоры трансэлювиального участка значительно выше, чем аккумулятивного, и составляет соответственно 51,6 % против 31,8 %. Меры включения показали, что флора трансэлювиального участка катены входит во флору аккумулятивной зоны всего на 0,48. Флора аккумулятивной зоны включена во флору трансэлювиальной зоны уже на 0,68. Это еще раз подтверждает аллохтонность формирования флоры аккумулятивного участка катены и автохтонность трансэлювиальной флоры.

Заключение

Таким образом, суровость условий горных экосистем определяет явное доминирование представителей семейства *Microcystaceae*, при этом ключевые позиции в спектре ведущих семейств занимают виды *Nostocaceae*, *Schizothrichaceae*, *Pseudoanabenaceae*, *Phormidiaceae*, включая в себя значительную часть флоры, что указывает на ее бореальный характер. Высокий процент одновидовых родов свидетельствует об аллохтонном характере формирования всей изученной флоры.

Катены, являясь геохимическим стоковым бассейном, играют существенную роль в формировании и топографии флоры в ее пределах. Меры включения четко показывают автохтонный характер формирования цианобактериально-водорослевой флоры в трансэлювиальном участке катены и явно аллохтонный ее характер в аккумулятивной зоне.

Список литературы

1. Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры). Л., 1985. 165 с.
2. Кузяхметов Г. Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа : РИО БашГУ, 2006. 286 с.
3. Давыдов Д. А. Специфика цианопрокариот Евразийской Арктики на примере флоры архипелага Шпицберген : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2022. 32 с.
4. Новичкова-Иванова Л. Н. Водоросли экосистем степей Евразии // Общество. Среда. Развитие (TerraHumana). 2012. № 2. С. 213–220.

5. Дорогостайская Е. В., Сдобникова Н. В. Почвенные водоросли тундр Западного Таймыра // Биогеоценозы Таймырской тундры и их продуктивность. 1973. № 2. С. 128–138.
6. Андреева В. М., Сдобникова Н. В. О почвенных водорослях степных районов Прибайкалья // Новости систематики низших растений. Л., 1975. Т. 12. С. 81–82.
7. Егорова И. Н., Судакова Е. А. Водоросли в наземных экосистемах Байкальской Сибири // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге : материалы II Всерос. конф. (г. Сыктывкар, 5–9 октября 2009). Сыктывкар, 2009. С. 182–186.
8. Сафонова Т. А. Синезеленые водоросли (Cyanoprocarvota) на каменистых субстратах Прибайкалья // Turczaninovia. 2002. № 1 (5). С. 68–75.
9. Новичкова-Иванова Л. Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. Л., 1980. 255 с.
10. Стебаев И. В., Сагды Ч. Т., Курбатская С. С., Пивоварова Ж. Ф. Останец Ончалаан как натурная модель развития биогеоценозов стоковых серий ландшафтов Убсунурской котловины. 2-е изд., испр. и доп. Кызыл : ТувГУ, 2017. 168 с.
11. Пивоварова Ж. Ф. Пространственно-функциональная почвенных водорослей горных степей Азиатской России и сопредельных территорий. Новосибирск : НГПУ, 2019. 220 с.
12. Антипина А., Глушкова Е. Характеристика северного склона хребта Чан (село Карам Иркутской области) // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации. Новосибирск, 2012. С. 245.
13. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л., 1969. 142 с.
14. Хазиев Ф. Х., Кабиров Р. Р. Количественные методы почвенно-альгологических исследований. Уфа, 1986. 172 с.
15. Кузяхметов Г. Г. Пространственная организация почвенных альгоценозов степи и лесостепи : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2000. 37 с.
16. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л., 1974. 244 с.
17. Семкин Б. И., Комарова Т. А. Анализ фитоценологических описаний с использованием мер включения // Ботанический журнал. 1977. Т. 62, № 1. С. 54–63.
18. Гецен М. В., Стенина А. С., Патова Е. Н. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург : УИФ Наука, 1994. 147 с.
19. Заки М. А., Шмидт В. М. О систематической структуре флор Южного Средиземноморья // Вестник ЛГУ. Сер. биол. 1972. Вып. 2, № 9. С. 57–69.
20. Патова Е. А. Cyanophyta в водоемах и почвах восточноевропейских тундр. Сыктывкар, 2004. Т. 89. 1419 с.
21. Пивоварова Ж. Ф., Илюшенко А. Е., Благодатнова А. Г. [и др.]. Почвенные водоросли антропогенно нарушенных экосистем. Новосибирск : Изд-во НГПУ, 2014. 146 с.
22. Пивоварова Ж. Ф. Цианобактериально-водорослевые группировки как отражение специфики криоаридных горных степей // Горные экосистемы и их компоненты : материалы VII Всерос. конф. с междунар. участием. Махачкала, 2019. С. 84–85.
23. Петрова Е. Н., Сивков М. Д. Цианобактерии криогенных пятен горно-тундровых почв // Автотрофные микроорганизмы. М., 2010. С. 80.
24. Стебаев И. В., Пивоварова Ж. Ф. Адаптационно-ценотическая специфика основных элементов биоты Убсунурской котловины, являющейся идеальной натурной моделью для биосферного мониторинга в резконтинентальных условиях // Информационные проблемы изучения биосферы. Убсунурская котловина – природная модель биосферы. Пушино, 1989. С. 7–11.
25. Стебаев И. В., Пивоварова Ж. Ф. Возникновение и развитие биогеоценозов на скалах // Журнал общей биологии. 1995. № 5. С. 715–729.
26. Красноторов И. М. Высокогорная флора Западного Саяна. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1976. 90 с.

27. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л., 1984. 156 с.
28. Пивоварова Ж. Ф. Почвенные водоросли горных степей Азиатской части СССР. Л., 1988. 32 с.
29. Пивоварова Ж. Ф., Благодатнова А. Г., Багаутдинова З. З. Жизненная стратегия цианобактериально-водорослевых группировок в освоении экстремальных мест обитания // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 2. С. 70–83. doi: 10.21685/2307-9150-2022-2-7
30. Зимонина Н. М. Почвенные водоросли нефтезагрязненных земель. Киров, 1998. 170 с.
31. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М., 1964. 229 с.

References

1. Gollerbakh M.M, Shtina E.A. *Pochvennye vodorosli* = Soil algae. Leningrad, 1969:142. (In Russ.)
2. Semkin B.I., Komarova T.A. Analysis of phytocenotic descriptions using inclusion measures. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 1977;62(1):54–63. (In Russ.)
3. Getsen M.V. *Vodorosli v ekosistemakh Kraynego Severa (na primere Bol'shezemel'skoy tundry)* = Algae in the ecosystems of the Far North (using the example of Bolshezemelskaya tundra). Leningrad, 1985:165. (In Russ.)
4. Kuzyakhmetov G.G. *Vodorosli zonal'nykh pochv stepi i lesostepi* = Algae of zonal soils of the steppe and forest-steppe. Ufa: RIO BashGU, 2006:286. (In Russ.)
5. Davydov D.A. Specificity of Cyanoprokaryotes of the Eurasian Arctic by the example of the Spitsbergen archipelago flora: DSc abstract. Novosibirsk, 2022:32. (In Russ.)
6. Novichkova-Ivanova L.N. Algae of the Eurasian steppe ecosystems. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (TerraHumana)* = Society. Wednesday. Evolution (TerraHumana). 2012;(2):213–220. (In Russ.)
7. Dorogostayskaya E.V., Sdobnikova N.V. Soil algae of the tundra of Western Taimyr. *Biogeotsenozy Taymyrskoy tundry i ikh produktivnost'* = Biogeocenoses of the Taimyr tundra and their productivity. 1973;(2):128–138. (In Russ.)
8. Andreeva V.M., Sdobnikova N.V. On the soil algae of the steppe regions of the Baikal region. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* = News of taxonomy of lower plants. Leningrad, 1975;12:81–82. (In Russ.)
9. Egorova I.N., Sudakova E.A. Algae in terrestrial ecosystems of Baikal Siberia. *Vodorosli: problemy taksonomii, ekologii i ispol'zovanie v monitoringe: materialy II Vseros. konf. (g. Syktyvkar, 5–9 oktyabrya 2009)* = Algae: problems of taxonomy, ecology and use in monitoring: proceedings of the 2nd All-Russian conference (Syktyvkar, October 5-9, 2009). Syktyvkar, 2009:182–186. (In Russ.)
10. Safonova T.A. Blue-green algae (Cyanoprokaryota) on rocky substrates of the Baikal region. *Turczaninovia*. 2002;(1):68–75. (In Russ.)
11. Novichkova-Ivanova L.N. *Pochvennye vodorosli fitotsenozov Sakharo-Gobiyskoy pustynnoy oblasti* = Soil algae of phytocenoses of the Sahara-Gobi desert region. Leningrad, 1980:255. (In Russ.)
12. Stebaev I.V., Sagdy Ch.T., Kurbatskaya S.S., Pivovarov Zh.F. *Ostanets Onchalaan kak natur'naya model' razvitiya biogeotsenozov stokovykh seriy landshaftov Ubsunurskoy kotloviny. 2-e izd., ispr. i dop.* = The Onchalaan Remnant as a natural model of development of biogeocenoses of the runoff series of landscapes of the Ubsunur Basin. The 2nd edition, revised and supplemented. Kyzyl: TuvGU, 2017:168. (In Russ.)
13. Pivovarov Zh.F. *Prostranstvenno-funktsional'naya pochvennykh vodorosley gornyykh stepey Aziatskoy Rossii i sopredel'nykh territoriy* = Spatial and functional soil algae of the mountain steppes of Asian Russia and adjacent territories. Novosibirsk: NGPU, 2019:220. (In Russ.)

14. Antipina A., Glushkova E. Characteristics of the northern slope of the Chan ridge (Karam village, Irkutsk region). *Molodezh' XXI veka: obrazovanie, nauka, innovatsii* = Youth of the 21st century: education, science, innovations. Novosibirsk, 2012:245. (In Russ.)
15. Khaziev F.Kh., Kabirov R.R. *Kolichestvennye metody pochvenno-al'gologicheskikh issledovaniy* = Quantitative methods of soil-algological research. Ufa, 1986:172. (In Russ.)
16. Kuzyakhmetov G.G. Spatial organization of soil algocenoses of the steppe and forest-steppe: DSc abstract. Syktyvkar, 2000:37. (In Russ.)
17. Tolmachev A.I. *Vvedenie v geografiyu rasteniy* = Introduction to plant geography. Leningrad, 1974:244. (In Russ.)
18. Getsen M.V., Stenina A.S., Patova E.N. *Al'goflora Bol'shezemel'skoy tundry v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya* = Algal flora of Bolshezemelskaya tundra under anthropogenic impact. Ekaterinburg: UIF Nauka, 1994:147. (In Russ.)
19. Zaki M.A., Shmidt V.M. On the systematic structure of the floras of the Southern Mediterranean. *Vestnik LGU. Ser. biol.* = Bulletin of LSU. Biological series. 1972;2(9):57–69. (In Russ.)
20. Patova E.A. *Cyanophyta v vodoemakh i pochvakh vostochnoevropeyskikh tundr* = Cyanophyta in water bodies and soils of the Eastern European tundra. Syktyvkar, 2004;89:1419. (In Russ.)
21. Pivovarova Zh.F., Ilyushenko A.E., Blagodatnova A.G. et al. *Pochvennye vodorosli antropogennogo narushennykh ekosistem* = Soil algae of anthropogenically disturbed ecosystems. Novosibirsk: Izd-vo NGPU, 2014:146. (In Russ.)
22. Pivovarova Zh.F. Cyanobacterial-algal communities as a reflection of the specificity of cryoarid mountain steppes. *Gornye ekosistemy i ikh komponenty: materialy VII Vseros. konf. s mezhdunar. Uchastiem* = Mountain ecosystems and their components: proceedings of the 7th All-Russian conference with international participation. Makhachkala, 2019:84–85. (In Russ.)
23. Petrova E.N., Sivkov M.D. Cyanobacteria of cryogenic spots of mountain tundra soils. *Avtotrofnye mikroorganizmy* = Autotrophic microorganisms. Moscow, 2010:80. (In Russ.)
24. Stebaev I.V., Pivovarova Zh.F. Adaptation-cenotic specificity of the main elements of the biota of the Ubsunur Basin, which is an ideal natural model for biosphere monitoring in sharply continental conditions. *Informatsionnye problemy izucheniya biosfery. Ubsunurskaya kotlovina – prirodnyaya model' biosfery* = Information problems of studying the biosphere. Ubsunur basin – a natural model of the biosphere. Pushchino, 1989: 7–11. (In Russ.)
25. Stebaev I.V., Pivovarova Zh.F. The emergence and development of biogeocenoses on rocks. *Zhurnal obshchey biologii* = Journal of general biology. 1995;(5):715–729. (In Russ.)
26. Krasnoborov I.M. *Vysokogornaya flora Zapadnogo Sayana* = High mountain flora of the Western Sayan. Novosibirsk: Nauka, Sib. otd-nie, 1976:90. (In Russ.)
27. Shmidt V.M. *Matematicheskie metody v botanike* = Mathematical methods in botany. Leningrad, 1984:156. (In Russ.)
28. Pivovarova Zh.F. *Pochvennye vodorosli gornykh stepey Aziatskoy chasti SSSR* = Soil algae of the mountain steppes of the Asian part of the USSR. Leningrad, 1988:32. (In Russ.)
29. Pivovarova Zh.F., Blagodatnova A.G., Bagautdinova Z.Z. Life strategy of cyanobacterial-algal communities in the development of extreme habitats. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2022;(2):70–83. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2022-2-7

30. Zimonina N.M. *Pochvennye vodorosli neftezagryaznennykh zemel'* = Soil algae of oil-contaminated lands. Kirov, 1998:170. (In Russ.)
31. Glazovskaya M.A. *Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniya prirodnnykh landshaftov* = Geochemical foundations of typology and methods of studying natural landscapes. Moscow, 1964:229. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Жанна Филипповна Пивоварова

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры биологии
и экологии,
Новосибирский государственный
педагогический университет
(Россия, г. Новосибирск, Виллюйская, 28)
E-mail: pivovarova4117@mail.ru

Zhanna F. Pivovarova

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department
of biology and ecology,
Novosibirsk State Pedagogical University
(28 Vilyuyskaya street, Novosibirsk, Russia)

Зульфира Зиннуровна Багаутдинова

младший научный сотрудник,
Институт цитологии
и генетики СО РАН
(Россия, г. Новосибирск,
пр. Академика Лаврентьева, 10)
E-mail: zulfir-a@yandex.ru

Zulfira Z. Bagautdinova

Junior research assistant,
Institute of Cytology and Genetics
of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences
(10 Akademika Lavrentieva avenue,
Novosibirsk, Russia)

Анастасия Геннадьевна Благодатнова

кандидат биологических наук,
доцент кафедры биологии и экологии,
Новосибирский государственный
педагогический университет
(Россия, г. Новосибирск, Виллюйская, 28)
E-mail: ablagodatnova@yandex.ru

Anastasiya G. Blagodatnova

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of biology and ecology,
Novosibirsk State Pedagogical University
(28 Vilyuyskaya Street, Novosibirsk, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.06.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 04.07.2024

Принята к публикации / Accepted 06.09.2024