

УДК 582.263

АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ПЛАВАЮЩИХ МАТОВ НИЖНЕ-ПАРАТУНСКИХ ГОРЯЧИХ ИСТОЧНИКОВ (КАМЧАТКА)

Ефимов А.А., Ефимова М.В.

Камчатский государственный технический университет

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

В статье приведены результаты исследований альгобактериальных матов Нижне-Паратунских горячих источников Камчатки. Описаны форма, структура, мощность, цвет, структурообразующие компоненты матов. Сделан вывод о зависимости формирования альгобактериальных матов от температуры среды.

В последние годы внимание ученых все более привлекают бактериально-водорослевые сообщества горячих источников. Для описания сообществ применяют термин «альгобактериальный», относя «альго» к водорослевому, а «бактериальный» – к бактериальному компоненту.

В гидротермальных проявлениях цианобактерии (синезеленые водоросли) в сообществе с другими микроводорослями и бактериями могут образовывать альгобактериальные маты («мат» от англ. «ковер»). Основным результатом деятельности альгобактериального мата является образование кислорода и связывание углекислоты в органические вещества. Сообщества цианобактерий с другими микроорганизмами, развивающиеся в термальных источниках, все более привлекают внимание с флористической и геохимической точек зрения [1, 5, 6, 12, 13, 16, 20]. Для описания сообщества применяется термин «циано-бактериальное», относя «циано» к цианобактериям, а «бактериальное» – к другим бактериям.

Типичным циано-бактериальным матом, имеющим слоистую структуру, принято называть мат, в котором первичные продуценты органического вещества, цианобактерии, преобладают в верхнем слое [2, 3].

Т.И. Кузякина предлагает деление циано-бактериальных матов на маты термальных ручьев (температура до 60°C), плавающие маты теплых болот (30–35°C), накипные – в районе парогазовых струй с

минимальной обводненностью (30°C), подводные маты [6].

Кастенхольц (1984) выделяет несколько основных типов циано-бактериальных матов в зависимости от особенностей их строения.

Маты с обычной вертикальной последовательностью, в верхнем слое которых (1–2 мм толщиной) преобладают термофильные цианобактерии. В нижнем слое, как правило, – термофильные нитчатые аноксигенные фототрофные бактерии [11, 14, 15]. Под матом расположен деструкционный слой с доминированием сульфатредуцирующих или метанобразующих бактерий. Такие маты встречаются в гидротермальных проявлениях с широким температурным диапазоном до 73°C и содержанием сульфидов до 1 мг/см³.

«Перевернутые маты», в которых слой аноксигенных фототрофных бактерий расположен над слоем цианобактерий. Образование матов этого типа обусловлено способностью некоторых аноксигенных фототрофных бактерий существовать в аэробных условиях. Такие маты встречаются в гидротермах с температурным диапазоном 35–62°C и содержанием сульфидов 1–8,5 мг/см³.

«Прозрачные маты» развиваются при температурах около 45°C и отличаются от других значительной толщиной (до 5–6 см). Кастенхольц считает, что подобные маты образуются благодаря кальцификации, отложению кремния или резким изменениям температуры воды, препятствующим развитию разрушающих

мат эукариотов. В составе таких матов преобладают цианобактерии рода *Phormidium*, образующие большое количество прозрачного полисахаридного геля и относительно небольшое количество хлорофилла. Это позволяет свету проникать на глубину до 1,5 см, и фотосинтез происходит на больших глубинах, чем в обычных и «перевернутых» матах [11].

Циано-бактериальные маты составляют автономные специфические биоценозы; их пышное развитие на выходах термальных вод представляет уникальное «сгущение жизни» в современной обстановке, что могло наблюдаться и в геологическом прошлом на первых этапах развития биосферы [18]. В последнее время привлекли к себе внимание строматолиты – слоистые органо-осадочные структуры, образующиеся при сорбции кальция цианобактериями, где были обнаружены термофильные бактерии и микроводоросли [1, 17, 19]. В настоящее время строматолиты образуются только в жарком сухом климате, в местах, где имеются мелкие водоемы. Обилие строматолитов в ископаемых остатках дает возможность предположить, что аналогичные климатические условия существовали в отдаленные геологические эпохи, когда цианобактерии играли решающую роль в обогащении свободным кислородом атмосферы Земли [10].

В горячих источниках Камчатки выделены плавающие маты альгобактериальных сообществ. По мере нарастания новых слоев на поверхности

сообщества нижние постепенно отмирают, причем их разложение происходит медленнее, чем прирост. С глубиной количество живых клеток цианобактерий в мате снижается, появляются пустые чехлы или россыпи клеток-гормогониев, увеличивается количество бактерий [5].

Просмотр ряда природных матов (35–40°C) показал, что все они имеют слоистую структуру; толщина мата обычно может достигать 20 мм [6]. В зависимости от температуры наблюдается смена видов цианобактерий и других микроорганизмов и изменение цвета циано-бактериального мата от белого, оранжевого, оливково-зеленого до буро-коричневого [4].

Объектами наших исследований являлись альгобактериальные маты поверхностных термопроявлений Паратунского геотермального месторождения. Паратунское месторождение термальных вод расположено на юге Камчатки, в 40 км от г. Петропавловска-Камчатского, и разделяется на участки: северный, нижний, средний и верхний. Термальные воды бассейна р. Паратунка характеризуются температурой 25–80°C, в высоконагретых потоках – 100–105°C. На всех участках имеет место самоизлив горячих вод из скважин. Воды могут быть отнесены к типу сульфатно-натриевых, характеризуются невысокой минерализацией.

В таблице 1 приведен химический состав вод Нижне-Паратунских горячих источников.

Таблица 1. Химический состав вод Нижне-Паратунских горячих источников

Наименование компонента	Содержание, мг/дм ³
K ⁺	17,50
Na ⁺	393,10
NH ₄ ⁺	0,10
Ca ₂ ⁺	166,30
Mg ²⁺	1,55
Cl ⁻	340,40
SO ₄ ²⁻	720,50
HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	42,70
H ₃ BO ₃	0,40
H ₄ SiO ₄	65,00

Из данных таблицы 1 видно, что в водах Нижне-Паратунских поверхностных термопроявлений преобладают катионы натрия, кальция, анионы хлора, сульфат- и карбонат-ионы.

Наблюдения и отбор образцов проводились на нижнем участке в летний период (июль–август 2006 г.) в солнечные дни (средняя освещенность 80000 лк) в трех бассейнах – с температурой воды 40–41°C («холодный»), 42°C («теплый») и 45–48°C («горячий») и слабощелочной реакцией среды (рН 7,9).

В ходе исследований применяли методики, общепринятые в микробиологии [7, 9]. Определение таксономической принадлежности цианобактерий проводили с использованием Определителя бактерий Берджи [8].

При исследовании альгобактериальных матов в трех

бассейнах Нижне-Паратунских поверхностных термопроявлений получили следующие данные.

В «холодном» бассейне (40–41°C) альгобактериальные маты присутствовали только на водной поверхности и в незначительном количестве (в среднем один мат на 1 м²). Средняя площадь поверхности мата составляла 0,1–0,2 м². Толщина матов достигала 10–35 мм. Маты имели кустарникообразную форму (рис. 1), оливково-бурый цвет, длинноволокнистую структуру. При исследовании состава сообществ было обнаружено, что основным структурообразующим компонентом альгобактериальных матов «холодного» бассейна являются цианобактерии *Phormidium ambiguum* (рис. 2), *Ph. laminosum* и цианобактерии рода *Oscillatoria*.



Рис. 1. Альгобактериальные маты «холодного» бассейна

В «теплом» бассейне (42°C) альгобактериальные маты развивались по третьему типу, выделенному Кастенхольцем [11]: как на поверхности воды, в толще воды, так и у дна (рис. 3) на глубине 1,6 м. По мере насыщения кислородом маты с дна постепенно

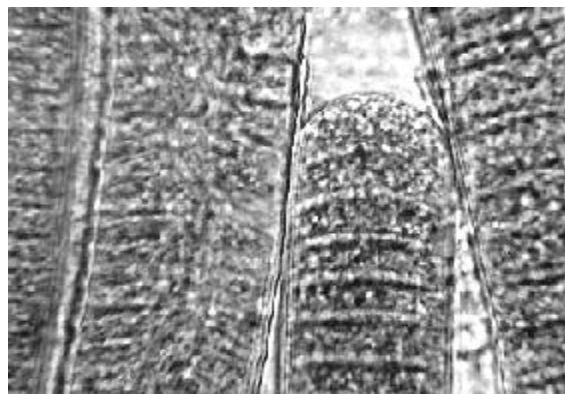


Рис. 2. Цианобактерии альгобактериальных матов «холодного» бассейна

поднимались на поверхность воды, густо ее заполняя (рис. 4). По форме, размерам, консистенции, цвету и структурообразующим компонентам маты «теплого» бассейна были идентичны альгобактериальным матам «холодного» бассейна.



Рис. 3. Общий вид дна «теплого» бассейна

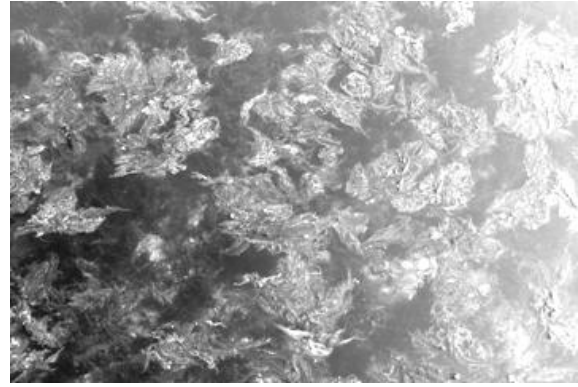


Рис. 4. Общий вид поверхности «теплого» бассейна

В «горячем» бассейне (45–48°C), так же как в «теплом», формировались «прозрачные маты», но по форме, консистенции, окраске наблюдались значительные отличия. Донные маты были вытянуты в направлении к поверхности и по форме напоминали шпиглы (рис. 5), диаметр которых у дна достигал в среднем 0,2–0,3 м. Эти маты имели

коротковолокнистую структуру, темно-оливковый цвет. На поверхности бассейна плавали слизистые маты, имеющие сглаженные контуры, среднюю площадь 0,08–0,1 м² и толщину до 15–40 мм. Цвет матов – от изумрудно-зеленого до оливково-зеленого. Четко наблюдалась насыщенность всей толщи матов пузырьками кислорода (рис. 6).

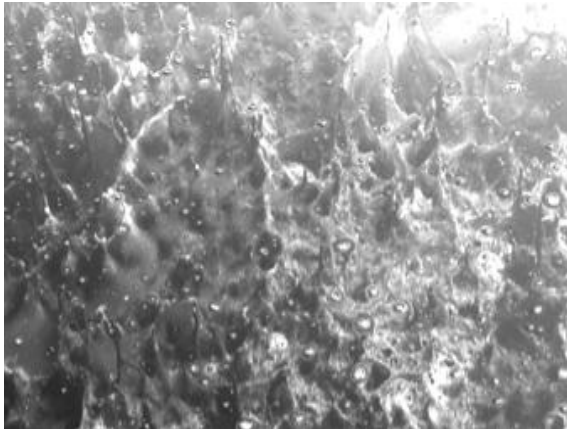


Рис. 5. Общий вид дна «горячего» бассейна

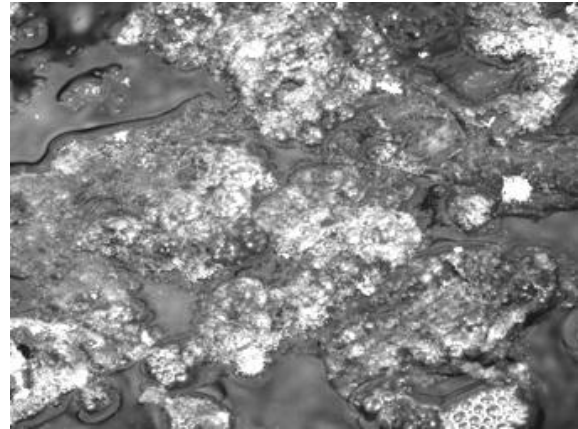


Рис. 6. Общий вид поверхности «горячего» бассейна

При исследовании состава альгобактериальных сообществ «горячего» бассейна было обнаружено, что основным структурообразующим компонентом альгобактериальных матов являются цианобактерии *Phormidium ambiguum* и *Ph. ramosum*. Среди описанных матов в «горячем» бассейне изредка встречались округлые слизистые пленки ярко-зеленого цвета, абсолютной водорослевой доминантой в которых оказались зеленые водоросли рода *Spirogyra*.

В незначительных количествах в альгобактериальных матах всех исследованных бассейнов были обнаружены цианобактерии родов *Gloeocapsa*, *Aphanothece*, *Synechocystis*, *Microcystis*.

Верхние слои матов фотосинтетически более активны. Количество хлорофилла понижается по направлению от поверхности внутрь мата, и, соответственно, с глубиной снижается фотосинтетическая активность. Это связано с недостатком освещения,

необходимого для активного развития цианобактерий, «предпочитающих» из всех возможных для них фототрофный тип питания. В нижних слоях плавающих альгобактериальных матов Нижне-Паратунских источников наблюдаются деструкционные процессы клеток цианобактерий, что связано, в первую очередь, с недостатком освещения и невозможностью активного фотосинтеза. В образцах из нижних слоев альгобактериальных матов присутствуют пустые влагилица, россыпи отдельных клеток. Изменяется цвет клеток в результате биохимического распада пигментных систем; они приобретают темно-коричневую, черную, фиолетовую, розовую окраску, не свойственную конкретным видам в живом состоянии. Нижний деструкционный слой может достигать толщины 15–20 мм.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что процессы формирования альгобактериальных сообществ матов, в том числе их доминирующая составляющая, форма, мощность, структура, цвет матов, в значительной степени зависят от температуры среды при равноценных прочих факторах.

Работа выполнена при поддержке гранта фундаментальных исследований ДВО РАН на 2006-2008 гг. «Микроорганизмы Дальнего Востока России: систематика, экология, биотехнологический потенциал».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Герасименко Л.М., Заварзин Г.А. // Биология термофильных микроорганизмов. М.: Наука. 1986. С. 22.
2. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М.: КД «Университет». 2001. 256 с.
3. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука. 2003. 348 с.
4. Кузякина Т.И., Кириченко В.Е. // Материалы III науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский. 2002. С. 58.
5. Кузякина Т.И. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и в гидротермах (остров Кунашир, Курильские острова; Камчатка): Автореф. дис. докт. биол. наук. Владивосток. 2000. 55 с.
6. Кузякина Т.И. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и в гидротермах (остров Кунашир, Курильские острова; Камчатка). Владивосток: Дальнаука. 2004. 252 с.
7. Методы общей бактериологии / Ред. Герхардт Ф. и др. М.: Мир. 1983. Т. 1. 536 с.
8. Определитель бактерий Берджи / Ред. Хоулт Дж. и др. М.: Мир. 1997. Т.1. 431 с.
9. Практикум по микробиологии / Ред. Нетрусов А.И. М.: Издательский центр «Академия». 2005. 608 с.
10. Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника. М.: Мир. 1990. Т.1. 348 с.
11. Castenholz R.W. // Microbial Mats: Stromatolites. N.Y.: Allan R. Lees. 1984. P. 101.
12. Ferris M.J., Ruffroberts A.L., Kocczynski E.D., Bateson M.M. // Applied and Environmental Microbiology. 1996. V. 62 (3). P. 1045.
13. Nold S.C., Koczynski E.D., Ward D.M. // Applied and Environmental Microbiology. 1996. V. 62 (11). P. 3917.
14. Nubel U., Bateson M.M., Vandieken V., Wieland A., Kuhl M., Ward D.M. // Appl. Environ. Microbiol. 2002. V. 68. P. 4593.
15. Ramsing N.B., Ferris M.J., Ward D.M. // Appl. Environ. Microbiol. 2000. V. 66. P. 1038.
16. Satoh K., Kamiesu A., Egashira H., Yano Y., Kashino Y., Koike H. // Plant and Cell Physiology. 1999. V. 40 (1). P. 96.
17. Walter M.R., Bauld J., Brock T.D. // Science. 1972. V. 178. № 4059. P. 462.
18. Ward D.M., Ferris M.J., Nold S.C., Bateson M.M. // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 1998. V. 62 (4). P. 1353.
19. Westall F., Marchesini D. // Abstracts of Int. Conference «Instruments, methods and missions for astrobiology V». Moscow. PIN RAS. 2002. P. 99.

20. Yamamoto H., Hiraishi A., Kato K.,
Chiura H., Maki Y., Shimizu A. // Applied
and Environmental Microbiology. 1998. V. 64
(5). P. 1680.

**HOT SPRING'S ALGOBACTERIAL COMMUNITIES OF DRIFTING MATS AT LOWER
PARATUNKA (KAMCHATKA)**

Yefimov A.A., Yefimova M.V.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky

The article includes the results of hot-springs' algobacterial mats at Lower Paratunka (Kamchatka) researches. The shape, the structure, the power, the color and the components, forming the structure are described. The conclusion about the dependence of algobacterial mats formation on the environmental temperature was made.