

ЭКОЛОГИЯ И БИОРАЗНООБРАЗИЕ ФОТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ АРМЕНИИ

А.Х. ПАРОНИЯ

Институт микробиологии НАН Армении, 378510, г.Абовян

Установлено широкое распространение и большое таксономическое разнообразие фототрофных бактерий в различных экосистемах Армении. Выявлены метаболические возможности их приспособления к условиям существования в составе разных экосистем, а также активное участие в биогеохимических процессах.

Հաստատվել է Հայաստանի տարբեր էկոհամակարգերում ֆոտոտրոֆ բակտերիաների լայն տարածվածությունն ու կարգաբանական հարուստ բազմազանությունը: Ցույց են տրվել նրանց տարբեր էկոհամակարգերի կազմում գոյության պայմաններին հարմարվելու նյութափոխանակության հնարավորությունները, ինչպես նաև ակտիվ մասնակցությունը կենսաերկրաքիմիական պրոցեսներում:

The wide distribution and rich taxonomic diversity of phototrophic bacteria in various ecosystems of Armenia have been shown. The metabolic possibilities of their adaptation under different conditions in various ecosystems and active participation in biogeochemical processes have been revealed.

Фототрофные бактерии - экология - биоразнообразие - водоемы - солончаки

Фототрофные организмы играют незаменимую роль в формировании биосферы, функционировании водных экосистем и круговороте веществ [3-5]. Они используются в биотехнологии, промышленности, в борьбе с загрязнением окружающей среды и очистке сточных вод [10, 12, 13, 16].

Экологическое разнообразие фототрофных бактерий Армении изучено мало. Из оз. Севан Ванштейн выделил микроорганизмы рода *Trautweinia*, растущие как в присутствии восстановленных соединений серы, так и при их отсутствии на органических субстратах [1].

Настоящая работа имеет целью изучение экологии и таксономического разнообразия фототрофных бактерий в Армении для их дальнейшего практического использования.

Материал и методика. Источниками для выделения фототрофных бактерий служили образцы воды, ила и почвы из разных минеральных источников, природных водоемов Армении, а также образцы почвы, промывных и грунтовых вод содовых солончаков Араратской равнины, взятые во время сезонных экспедиций.

При изучении пространственной структуры были использованы стекла обростания, которые дают возможность наблюдать картину расселения фототрофных бактерий по вертикали и горизонтали [3].

При взятии образцов определяли температуру, рН, освещенность, глубину, соленость, кислородный режим, содержание биогенных элементов. Накопительные культуры получали методом Виноградского в цилиндрах, а также с использованием разных селективных сред [14]. После инкубации в течение 3-4-х недель все образованные окрашенные колонии были выделены в чистую культуру методом получения отдельных микроколоний в столбиках агара. Чистоту выделенных культур проверяли под фазово-контрастным микроскопом, а также высевом на МПА и среду Постгейта для обнаружения сульфатредуцирующих бактерий. Для количественного учета бактерий проводили прямой

подсчет клеток после высева исследуемого материала в жидкие питательные среды методом предельных разведений [3]. Для изучения морфологических, культуральных и физиолого-биохимических особенностей использовали ранее описанные методы [6, 8]. Для выяснения систематического положения выделенных бактерий использовали определитель Берге [11].

Результаты и обсуждение. В качестве экологической оценки нами использованы следующие общепринятые показатели: частота встречаемости рода или вида, доминирование того или иного вида и видовое разнообразие фототрофных бактерий. Физико-химические параметры экологических ниш и данные о распространении их в экосистемах минеральных источников, а также данные о самых крупных и отличающихся по химическому составу минеральных источниках представлены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химические параметры и распределение фототрофных бактерий в минеральных источниках Армении

Группы источников	Тип источника	Температура, °С	рН	Общая минерализация, г/л	СО ₂ , г/л	Доминирующие виды	Число клеток на 1 мл воды/ила
Аракатская	Кальциево-натриевые	24-28,5	6,5-6,8	1,2-4,27	2,0-3,0	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.palustris</i> <i>C.vinosum</i>	1160, 1160 500, 850 50, 200
Арзинская	Натриево-хлоридные	13,3-22,5	6,3-6,6	1,4-16,8	1,8-8,5	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.rubrum</i> <i>R.capsulatus</i>	500, 700 40, 70 400, 600
Анкаванская	Хлоридно-магниево-	11-12	7,2-7,4	4,8-7,5	2,0-2,5	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.acidophila</i> <i>R.rubrum</i>	500, 800 10, 35 22, 40
Алавердская	Хлоридно-железистые	7-16	5,5-7,0	2,7-4,1	0,2-1,9	<i>R.rubrum</i> <i>C.vinosum</i> <i>T.jenense</i>	150, 300 10, 25 5, 18
Бжни-Арзаканская	Хлоридно-натриевые	14,2-44	6,7-8,0	2,4-5,95	0,72-8,8	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.palustris</i> <i>T.roseopersicina</i>	1100, 1550 140, 250 10, 30
Джермукская	Сульфатно-хлоридные	11-58	5,9-7,6	0,7-5,3	0,2-2,9	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.capsulatus</i> <i>T.jenense</i>	1150, 1420 115, 100 8, 14
Дилижанская	Кальциево-магниево-	10-13,5	6,3-6,5	3,5-3,9	2,2-2,5	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.rubrum</i> <i>C.vinosum</i>	50, 65 11, 18 10
Лорнейская	Сульфатно-кальциевые	8,6-12,5	6,3-6,4	2,3-5,2	0,39-2,7	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.sulfidophilus</i> <i>R.rubrum</i>	130, 150 16, 25 8
Севан-Гаварская	Натриево-магниево-	4-18	6,3-6,7	3,5-5,1	2,0-4,2	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.palustris</i>	12, 25 10, 19
Ширакская	Сульфатные	12-15	6,8-7,2	4,0-5,9	1,0-1,6	<i>Lamprocystis sp.</i> <i>T.jenense</i> <i>T.vinosum</i>	12, 35 6, 22 10, 30
Шушинская	Сульфатно-хлоридные	18-22	6,3-6,5	0,7-3,8	0,25-3,1	<i>R.palustris</i> <i>R.sphaeroides</i>	

Минеральные источники Армении в большинстве гидрокарбонатные и углекислые. Характерные физико-химические данные этих источников

несколько варьируют, что обусловлено географическим положением и многообразием геолого-структурных условий их формирования [2].

Таксономическая структура фототрофных бактерий минеральных источников в основном представлена несерными и серными пурпурными бактериями. Однако по количественному соотношению и видовому составу они различаются. В источниках, расположенных в южных широтах, преобладают несерные пурпурные бактерии, тогда как в северных - серные пурпурные бактерии. Интенсивному развитию фотогетеротрофных организмов, с одной стороны, способствует высокая среднегодовая температура, а с другой - наличие большого количества органических субстратов. В южных широтах наблюдается также общая тенденция увеличения численности фототрофов при сравнительно ограниченном разнообразии. Так, в Арагатских минеральных источниках преобладают роды *Rhodobacter*, *Rhodopseudomonas* и *Rhodospirillum*. Серные же фототрофы представлены преимущественно родом *Chromatium*. Доминирующими являются *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodopseudomonas palustris* и *Chromatium vinosum*. В ограниченном количестве обнаружена зеленая серобактерия *Chlorobium limicola*.

Минеральные источники Джермука при более низком титре имеют сравнительно богатый видовой спектр. Наряду с вышеуказанными видами, выявлены *R. capsulatus*, *R. sulfidophilus*, *Rhodopseudomonas acidophila*, *Chromatium minus*, *Thiospirillum jenense*. Несерные пурпурные бактерии, выделенные из термальных источников Джермука с температурой 50-55°, проявляют термоустойчивость, максимальная температурная граница роста достигает 42-43°. Со дна крупного резервуара минеральной воды Джермук выделены галотолерантные штаммы *R. sphaeroides*, которые выдерживают в среде с содержанием до 6-8% NaCl.

Следует отметить, что в джермукских источниках резкие сезонные колебания численности бактерий не отмечены, как это имело место в Арагатской области. Обычно богатые видами ассоциации фототрофных бактерий более устойчивы к колебаниям климатических факторов. С другой стороны, летний период здесь прохладный и влажный. Сезонная динамика общего количества фототрофных бактерий в минеральных источниках Арагата и Джермука представлена на рис. 1.

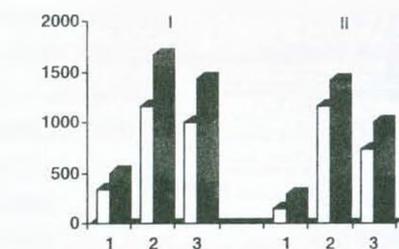


Рис. 1. Сезонная динамика общего количества фототрофных бактерий в минеральных источниках Арагата и Джермука. I - минеральный источник Арагат, II - минеральный источник Джермук. 1 - весенний, 2 - летний, 3 - осенний периоды.
□ - в воде, ■ - в иле

Более ровный характер имеет динамика фототрофных бактерий минеральных источников Бжни, Арзакана и Анкавана. Помимо широкого

ареала распространения в этих водах, фототрофные бактерии встречаются в них в значительных количествах. В этих источниках почти равномерно распространены автотрофные, гетеротрофные и миксотрофные бактерии. Чаще встречаются роды *Rhodopseudomonas*, *Rhodobacter*, *Rhodospirillum*, *Thiocapsa*, *Ectothiorhodospira*, *Chromatium*. Доминирующими оказались *R. palustris* и *Thiocapsa roseopersicina*.

Интересная картина наблюдается в минеральных источниках Ширакской группы. Главной особенностью этих источников является высокое содержание в них сероводорода, вследствие чего они являются уникальными для территории Армении [2]. Содержание сероводорода в источниках Ширакаван и Норабер достигает 120-130 мг/л. Несерные пурпурные бактерии чувствительны к этим концентрациям сероводорода, поэтому фототрофная микрофлора представлена в основном пурпурными серобактериями. Часто встречаются роды *Thiocapsa*, *Chromatium*, *Thiospirillum* и реже *Lamprocystis*. Доминирующие виды - *Thiospirillum jenense*, *Chromatium vinosum*. В незначительных количествах в ассоциациях с серными бактериями обнаружены *R. sphaeroides* и *R. sulfidophilus*.

Арзниские источники характеризуются большим содержанием несерных пурпурных бактерий. Они представлены родами *Rhodospirillum*, *Rhodobacter*, *Rhodopseudomonas*. Доминирующие виды *Rhodospirillum rubrum*, *R. palustris* и *R. sphaeroides*. Это объясняется присутствием в источниках больших количеств органических веществ, что является следствием загрязнения окружающей среды. По всей территории наблюдается обильное развитие сине-зеленых и зеленых водорослей.

Алавердская группа источников отличается низким значением pH, что дает возможность развиваться умеренно ацидофильным формам. Чаще всего встречаются *R. acidophila* и *R. capsulatus*. Последний растет в интервалах pH от 5,5 до 10,5 в зависимости от источника углерода.

Минеральные источники Шуши богаты несерными пурпурными бактериями. В больших количествах обнаружены *R. palustris* и *R. sphaeroides*.

Таким образом, таксономическая структура фототрофных бактерий минеральных источников Армении разнообразна, что определяется рядом экологических и географических факторов. Наряду с другими микроорганизмами, они играют значительную роль в формировании биоценоза и компонентного состава минеральных вод.

Природные водоемы Армении немногочисленны [7]. Это в большинстве пресные, гидрокарбонатные, слабокислые или нейтральные озера с низкой минерализацией (табл. 2). Водоемы, питающиеся глубинными водами, содержат ощутимые количества сульфатов. Микробиологические процессы, производимые фототрофными бактериями в этих озерах, почти сходны.

Известно, что в водоемах имеются три экологические зоны: аэробная, микроаэрофильная и анаэробная. Фототрофные бактерии сосредоточены в

экологических нишах микроаэрофильной и анаэробной зон в условиях проникновения света. С помощью богатого каротиноидного состава они способны использовать коротковолновый свет, который может проникать на глубину 5-10 м. В оз. Севан сероводород продуцируется в незначительных количествах, поэтому здесь большей частью встречаются несерные пурпурные бактерии. Это *R. sphaeroides*, *R. palustris*, в загрязненных участках - *R. capsulatus*, *Rhodocyclus gelatinosus*. Заметное развитие таких родов серных и несерных пурпурных бактерий как *Chromatium*, *Rhodospirillum* наблюдали в иловых отложениях. В более глубоких слоях ила были обнаружены зеленые серобактерии рода *Chlorobium*. Однако титр фототрофных бактерий в оз. Севан небольшой. Картина улучшается летом, когда происходит сезонное цветение водорослей. Следует отметить, что в связи с понижением уровня воды озера и повышением освещенности дна создались благоприятные условия для развития зеленых и сине-зеленых водорослей, что, в свою очередь, приводит к увеличению органических веществ и развитию фототрофных бактерий. Из олиготрофного озера превращается в эвтрофное, и в течение последних 10 лет суммарный титр фототрофной микрофлоры озера Севан увеличился почти в 5 раз (рис. 2). В глубинных анаэробных слоях воды в зонах, где развиваются фототрофные бактерии, всегда присутствуют сульфатредуцирующие микроорганизмы, которые и являются основными продуцентами сероводорода.

Таблица 2. Физико-химические параметры и распространение фототрофных бактерий в природных водоемах и содовых солончаках Армении

Водоемы и образцы солончаков	Максимальная температура, °С	pH	Общая минерализация, г/л	Карбонаты, %	Растворимые соли, %	Доминирующие виды	Число клеток в 1 мл воды или 1 г почвы
Севан	19	7,8-6,0	0,72	-	-	<i>R.sphaeroides</i> <i>R.palustris</i> <i>C.vinosum</i>	12, 24 12, 14 4, 10
Мецамор (Айгр)	26	7,0-7,2	0,52	-	-	<i>C.vinosum</i> <i>Lamprocystis sp.</i> <i>R.capsulatus</i>	25, 90 18, 32 500, 900
Акналич	18	7,1-7,2	0,1	-	-	<i>R.sphaeroides</i> <i>C.vinosum</i>	3, 15 - 6
Парзлич	12	6,9-7,0	0,1	-	-	<i>R.sphaeroides</i> <i>C.vinosum</i>	3, 15 - 6
Агагел (Арагат)	28	6,8-6,9	5,9	-	-	<i>R.rubrum</i> <i>R.capsulatus</i> <i>T.jenense</i>	18, 42 20, 56 10, 21
Почва солончаков	21	9,0-10,5	-	15-18	1,5-1,95	<i>Ectothiorhodospira sp.</i> <i>T.roseopersicina</i> <i>T.jenense</i>	20 17 32
Промывные воды солончаков	30	9,0-10,5	-	13,5-16	1,4-2,1	<i>Lamprocystis sp.</i> <i>C.vinosum</i> <i>E.mobilis</i> <i>R.sulfoviridis</i>	18 30 15 6

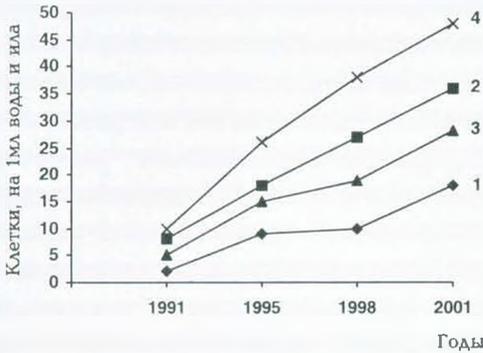


Рис.2. Динамика количества фототрофных бактерий прибрежной зоны озера Севан в летние периоды 1991-2001 гг.

- 1 - несерные пурпурные бактерии в образцах воды
- 2 - серные пурпурные бактерии в образцах воды
- 3 - несерные пурпурные бактерии в образцах ила
- 4 - серные пурпурные бактерии в образцах ила

наблюдается и в оз. Мецамор. Поэтому в летний период в поверхностных слоях, где выше освещенность и среда богата органическими веществами, обильно развиваются микроаэрофильные несерные пурпурные бактерии. Среди них доминируют *R. capsulatus*, *R. rubrum*, *R. sphaeroïdes*.

Оз. Акналич и Парзлич почти дистрофные, так как питаются тальми водами. Общая минерализация низкая, ионы сульфата также незначительны. Их поверхность зимой обледеневает. Только в летнее время обнаруживается фототрофная микрофлора. Она представлена немногочисленным количеством серных и несерных пурпурных бактерий. Качественный состав микроорганизмов идентичен составу озера Севан.

Оз. Агагел (с.Арагат) - небольшой соленый водоем. Соленостью и определяется состав фототрофных бактерий. Все описанные представители фототрофов или слабо галофильные (3-5% NaCl), или же галотолерантные (6-8% NaCl). В связи с высокой продукцией сероводорода здесь преобладают серные пурпурные бактерии. Это роды *Chromatium*, *Thiospirillum*. На границе аэробной и анаэробной зон, где присутствуют сероводород и небольшое количество кислорода, обнаружены смешанные ассоциации серных, несерных фототрофных и сульфатредуцирующих бактерий. Все несерные формы являются микроаэрофилами и способны использовать в небольших количествах сероводород. Несерные пурпурные бактерии в больших количествах распространены в верхних слоях озера, где они находятся в сообществе с водорослями. Это *R. rubrum*, *R. sphaeroïdes*, *R. capsulatus*.

Исследования показали, что, несмотря на разные эколого-географические факторы, спектр родового и видового состава в водоемах Армении несколько однообразен. Однако будучи одной из широко распространенных групп водных микроорганизмов, они играют большую роль в трансформации органических и минеральных веществ в водоемах, тем самым

Оз. Мецамор (Айгр) болотистое, вода местами имеет темную окраску и свет не везде проникает до дна. Этим и обусловлено неравномерное расселение фототрофных бактерий. Серные пурпурные бактерии представлены родами *Chromatium*, *Lamprocystis*, *Thiospirillum*. Эти микроорганизмы часто встречаются в ассоциациях, окруженных обильной слизью. Интенсивное сезонное цветение водорослей

улучшая экологическое состояние озер.

Содовые солончаки Араратской равнины занимают около 30 тысяч гектаров и отличаются высокой щелочностью и слабой минерализацией (табл. 2). Грунтовые воды большей частью расположены близко от поверхности (1-2 м). При высокой температуре окружающей среды (летом достигает 42-45°) и интенсивном испарении грунтовые воды выходят на поверхность, испаряются, а содержащиеся соли накапливаются на поверхности почвы. В профиле четко отличается поверхностный солевой горизонт.

Фототрофные бактерии здесь представлены экстремофильными формами, в частности алкалофильными. Широко распространены представители родов *Ectothiorhodospira*, *Thiospirillum*, *Thiocapsa*, *Chromatium*, *Lamprocystis*. Доминирующие виды *Ectothiorhodospira mobilis*, *Thiocapsa jenense*, *Thiocapsa roseopersicina*, *Chromatium vinosum*.

Для всех этих организмов характерны алкалофильность (pH 9,0-10,5), галотолерантность (6-8% NaCl), миксотрофность и микроаэрофильность. Только *Chromatium* является строгим анаэробом. Имея специфические ферментные системы, они способны развиваться в экстремальных условиях солончаков. На основании этих и ряда других физиологических признаков они описаны как новые экотипы [8].

В летний период при сухой погоде количество фототрофных бактерий резко снижается, некоторые виды даже не удается обнаружить. Интенсивное развитие фототрофных микроорганизмов в солончаках приурочено к поздневесеннему и раннеосеннему периодам. Однако в солончаках существуют и дистрофные участки, где количество и состав фототрофов незначительны. Это очень сухие участки, где из-за глубокого расположения грунтовых вод поверхностные стоки почти отсутствуют.

Имея широкий метаболический потенциал, возможность существования в автотрофных и гетеротрофных условиях, эта группа фототрофов способствует нормальному функционированию геохимических циклов в солончаках в условиях высокой щелочности [9, 11, 15].

Таким образом, совокупность полученных данных по экологии фототрофных бактерий свидетельствует о широком распространении их в разных экосистемах Армении и большой роли в биогеохимических процессах, что определяется их участием в круговороте таких важных элементов, как углерод, сера, азот.

Изучение распространения, видового состава и метаболической деятельности фототрофных бактерий позволит нам глубже оценить биогеохимическую значимость и использовать их для улучшения экологической обстановки окружающей среды, что весьма актуально для Армении.

Автор выражает признательность академику Э.Африкяну за содействие и ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ванштейн М.Б.* Автореф. канд. дис., М., 1976.
2. Геология Армянской ССР, IX. Минеральные воды. Ереван, 140-471, 1969.
3. *Горленко В.М., Дубинина Г.А., Кузнецов С.И.* Экология водных микроорганизмов. 119-200, М., 1977.
4. *Горленко В.И., Намсараев Б.Б., Кульyroва А.В., Заварзина Д.Г., Жилина Т.Н.* Микробиология, 68, 5, 664-670, 1999.
5. *Заварзин Г.А., Жилина Т.Н., Кевбрин В.В.* Микробиология, 68, 5, 579-599, 1999.
6. *Малатян М.Н., Арутюнян Т.Г., Паронян А.Х., Кенпен О.И., Александрушклина Н.И.* Микробиология, 51, 3, 517-519, 1982.
7. *Оганесян Р.О.* Озеро Севан вчера, сегодня ... Ереван, 494, 1994.
8. *Паронян А.Х.* Биолог. журн. Армении, 53, 1-2, 41-45, 2001.
9. *Сорокин Д.Ю., Турова Т.П., Кузнецова Б.Б., Брянцева И.А., Горленко В.М.* Микробиология, 69, 1, 89-97, 2000.
10. *Феофилова Е.П.* Прикладная биохимия и микробиология, 30, 2, 181-195, 1994.
11. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Eds. Stalley J.T. et al. Baltimore: The Williams and Wilkins Co., 3, 1582-2298, 1989.
12. *Buiton G.* Carotenoides, chemistry and biology. Plenum Press, 168-186, 1990.
13. *Grant W.D., Mukatha W.E., Zones B.E.* FEMS Microbiol. Rev., 75, 1, 255-270, 1990.
14. *Imhoff J.E.* The Prokaryotes, a handbook on the biology of bacteria: ecology, physiology, isolation, identification, applications. Springer-Verlag, 4, 3222-3229, 1992.
15. *Jones B.E., Grant W.D., Duckworth A.W., Owenson G.G.* Extremophiles, 2, 191-200, 1998.
16. *Sasaki K., Noparatnaraporn N., Nagai S.* Bioconversion of waste materials to industrial products, 223-261, Elsevier, 1991.

Поступила 22.1.2002