

4  
НОМЕР

БОИЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

<http://www.elmag.uran.ru>

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

Оренбургская область  
Урочище Петровские сосны  
Вельмовский П.В.



2023

**УЧРЕДИТЕЛЬ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ОРЕНБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

© Е.А. Селиванова, О.А. Тынников, 2023

УДК 582.251.6

Е.А. Селиванова<sup>1</sup>, О.А. Тынников<sup>1</sup>

## ХАРАКТЕРИСТИКА БАКТЕРИЙ-АССОЦИАНТОВ ИЗ ЛАБОРАТОРНЫХ КУЛЬТУР ГАЛОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

<sup>1</sup> Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН), Оренбург, Россия

*Цель.* Анализ морфологических, физиологических, биохимических и молекулярно-генетических особенностей новых штаммов умеренно галофильных бактерий, выделенных из лабораторных культур микроводорослей *Dunaliella viridis* и *Asteromonas gracilis*.

*Материалы и методы.* Из культур галофильных микроводорослей *A. gracilis* Т6 и *D. viridis* R5, длительно поддерживаемых в лабораторных условиях, с помощью бактериологического метода выделены чистые культуры бактерий-ассоциантов. Культивирование проводили на мясо-пептонном агаре с 10%-ным содержанием NaCl. У выделенных бактериальных культур оценивали тинкториальные, морфологические и биохимические особенности. Идентификацию проводили на основе анализа последовательности гена 16S рРНК. У выделенных бактериальных культур проводили количественное определение уровня каталазной активности.

*Результаты.* Из культуры галофильной микроводоросли *D. viridis* R5 выделены два штамма бактерий рода *Halomonas*, один из которых – умеренно галофильный *Halomonas* sp.1, по своим характеристикам наиболее близкий к виду *H. halophila*, другой – галотолерантный штамм *Halomonas* sp.2, наиболее сходный с *H. tabrizica*. Из культуры *A. gracilis* Т6 выделен галотолерантный штамм *H. janggokensis*. Отмечено, что численность бактерий-ассоциантов в стационарную фазу роста микроводорослей достигает  $10^7$  КОЕ/мл. Уровень каталазной активности выделенных штаммов был невысоким и составлял  $0,88 \pm 0,08$  -  $1,38 \pm 0,10$  мкМ/мин·ОД для ассоциантов *D. viridis* R5 (*Halomonas* spp.) и  $3,49 \pm 0,05$  мкМ/мин·ОД для ассоцианта *A. gracilis* Т6 (*H. janggokensis*).

*Заключение.* В статье описываются морфологические, молекулярно-генетические, физиологические и биохимические особенности новых штаммов рода *Halomonas*, длительно сохраняющихся в ассоциации с галофильными микроводорослями. Показано наличие каталазной активности, которая является одним из механизмов сохранения бактерий в культурах микроводорослей. Таким образом, полученные данные расширяют представления об экологии рода *Halomonas* и составе прокариот в ассоциациях с галофильными микроводорослями.

*Ключевые слова:* *Asteromonas gracilis*, *Dunaliella viridis*, галофильные бактерии, род *Halomonas*, каталазная активность.

---

---

Е.А. Selivanova, O.A. Tynnikov<sup>1</sup>

## CHARACTERISTICS OF THE BACTERIA ASSOCIATED WITH LABORATORY CULTURES OF HALOPHILIC MICROALGAE

<sup>1</sup> Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, UB RAS), Orenburg, Russia

*Aim.* Analysis of morphological, physiological, biochemical and molecular genetic characteristics of new strains of moderately halophilic bacteria isolated from laboratory cultures of microalgae *Dunaliella viridis* and *Asteromonas gracilis*.

*Materials and methods.* The pure cultures of associated bacteria were isolated from halophilic microalgae *A. gracilis* T6 and *D. viridis* R5 cultures, maintained in laboratory conditions

for a long time, using the cultural method. Cultivation was carried out on meat-peptone agar with 10% NaCl content. Tinctorial, morphological and biochemical characteristics of the isolated bacterial cultures were assessed. Identification was based on analysis of the 16S rRNA gene sequence. A level of catalase activity in the isolated bacterial cultures was quantified.

*Results.* Two bacterial strains of the genus *Halomonas* were isolated from the halophilic microalga culture *D. viridis* R5. One of those was the moderately halophilic *Halomonas* sp.1, most similar to the species *H. halophila*; another strain was the halotolerant strain *Halomonas* sp.2, most similar to *H. tabrizica*. A halotolerant strain of *H. janggokensis* was isolated from the culture of *A. gracilis* T6. The number of associated bacteria was noted to reach  $10^7$  CFU/mL in the stationary phase of microalga growth. The level of catalase activity of the isolated strains was not high and accounted  $0,88 \pm 0,08$  -  $1,38 \pm 0,10$   $\mu\text{mol}/\text{min} \cdot \text{OD}$  for the associates of *D. viridis* R5 (*Halomonas* spp.) and  $3,49 \pm 0,05$   $\mu\text{mol}/\text{min} \cdot \text{OD}$  for the associate of *A. gracilis* T6 (*H. janggokensis*).

*Conclusion.* The article describes the morphological, molecular genetics, physiological and biochemical features of the new strains of genus *Halomonas*, which had been persisted for a long time in association with halophilic microalgae. Catalase activity in the strains was shown, which underlies bacterial persistence in microalgae cultures. Thus, the data obtained expand the knowledge on *Halomonas* ecology and the composition of prokaryotes in associations with halophilic microalgae.

*Key words:* *Asteromonas gracilis*, *Dunaliella viridis*, halophilic bacteria, *Halomonas*, catalase activity.

## Введение

Ассоциации микроводорослей с прокариотами активно изучаются в пресноводных и морских экосистемах, а также некоторых экстремальных местообитаниях [17]. Известно, что бактериальные ассоцианты способны как усиливать, так и подавлять рост и развитие микроводорослей, влияя на такие процессы как «цветение» воды [10]. Даже длительно культивируемые в лаборатории культуры микроводорослей сохраняют симбиотические отношения с бактериями [21], поэтому используются в качестве удобной модели для исследования трофических взаимоотношений в сообществах микроорганизмов [14], стимуляции роста водорослей [11], а также оценки взаимного подавления [19] и конкуренции за питательные вещества [15].

В гипергалинных Соль-Илецких водоемах с соленостью более 100 г/л важными первичными продуцентами являются зеленые микроводоросли, среди которых наиболее часто встречаются представители родов *Dunaliella* и *Asteromonas* [4, 5]. Известно, что эти виды микроводорослей в качестве осмопротекторов синтезируют и накапливают в больших количествах глицерин, который в свою очередь может быть использован прокариотами в качестве источника углерода [8]. Присутствие бактерий и архей ранее было показано в культурах галофильных водорослей рода *Dunaliella* [2, 9]. Так, изуче-

ние ассоциантов *Dunaliella salina* позволило описать новый вид *Halomonas socia* [9]. Ранее состав прокариот в культурах галофильных микроводорослей, выделенных из Соль-Илецких озер, был определен методом метабаркодинга гена 16S рРНК [22], что позволило определить наличие узкого спектра ассоциантов, представленных археями рода *Halorubrum* и бактериями рода *Halomonas*.

Цель настоящего исследования – анализ морфологических, физиологических и молекулярно-генетических особенностей новых штаммов умеренно-галофильных бактерий, выделенных из лабораторных культур микроводорослей *Dunaliella viridis* и *Asteromonas gracilis*.

### Материалы и методы

Для исследования использовали длительно поддерживаемые в лабораторных условиях альгологически чистые культуры галофильных микроводорослей: *A. gracilis*, выделенная из озера Тузлучное в 2009 г., и *D. viridis*, выделенная из озера Развал. Культивирование проводили на среде ОПС следующего состава: NaCl – 116,0 г/л; MgSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O – 50,0 г/л; KNO<sub>3</sub> – 2,5 г/л; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0,2 г/л; NaHCO<sub>3</sub> – 1,0 г/л в плоскодонных колбах объемом 250 мл в условиях искусственной непрерывной инсоляции (5000 лк) при температуре 25°C.

Чистые культуры бактерий получали с помощью высева 0,1 мл культуры микроводорослей, находящейся в стационарной фазе роста, на мясопептонный агар с 10%-ным содержанием соли. Морфологию и число колоний оценивали через 3-5 суток после инкубации в термостате при 25°C. У выделенных бактериальных культур оценивали морфологию клеток и подвижность с помощью иммерсионной и фазово-контрастной микроскопии Аxiосkоре А1 (Carl Zeiss, Германия). Для уточнения результатов окраски по Граму использовали КОН-тест (реакция Греггера) [13]. Качественное определение каталазы осуществляли, добавляя бактериальную массу к 3% раствору H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Для обнаружения бактериальной цитохромоксидазы использовали ОК-СИтест (Lachema, Чехия). Продукцию кислоты из различных углеводов оценивали по Лейфсону [18]. Выделение ДНК из чистых культур проводили фенол-хлороформным методом. Секвенирование гена 16S рРНК проводили с помощью праймеров 16SF190: ATTAGCTAGTAGGTGGGGTAA и 16SR1100: TTAGTAGCGATTCCGACTTCA (НПО «СИНТОЛ», Москва). Сборка последовательности гена 16S рРНК осуществлялась с помощью программы MEGA11. Поиск гомологичных последовательностей проводился с использо-

ванием базы данных NCBI GeneBank при помощи алгоритма BLAST. Количественное определение уровня каталазной активности бактерий проводили по методу О.В. Бухарина с соавт. [1]. Все эксперименты проводили в трех и более повторностях.

## **Результаты и обсуждение**

### Фенотипическая характеристика

Для оценки состава бактериальных ассоциаций были использованы длительно поддерживаемые в лабораторных условиях культуры галофильных зеленых микроводорослей: штамм *A. gracilis* T6, выделенный из гипергалинного озера Тузлучное [4], таксономическое положение которого было уточнено на основе анализа фрагмента последовательности гена 18S (KT013274.1), и штамм *Dunaliella viridis* R5, выделенный из гипергалинного озера Развал, идентификация которого была проведена ранее на основе анализа фрагмента ITS1-5,8S-ITS2 [6].

При высеве на мясо-пептонный агар с 10%-ным содержанием соли *D. viridis* R5 наблюдался рост двух типов колоний (Dun 1/5 и Dun 2/7), *A. gracilis* – одного типа колоний (Ast.). Характеристика тинкториальных, морфологических, физиологических и биохимических свойств выделенных штаммов приведена в таблице 1.

### Молекулярно-генетический анализ последовательности гена 16S рРНК

В результате проведенного сравнения полученных последовательностей гена 16S рРНК с нуклеотидными последовательностями в международной базе данных GenBank NCBI был продемонстрирован высокий процент сходства штамма Dun 1/5 с двумя близкородственными видами *Halomonas halophila* (CP129121) и *Halomonas salina* (NR042050), на основании чего он был идентифицирован как *Halomonas* sp. 1 (таблица 2). Наиболее близкими для штамма Dun 2/7 (*Halomonas* sp. 2) оказались нуклеотидные последовательности, принадлежащие *Halomonas fontilapidosi* (NR044519) и *Halomonas tabrizica* (NR178334). Для штамма Ast. ближайшим гомологом оказался *Halomonas janggokensis* (OR880269).

### Ростовые и физиологические характеристики

Учитывая роль каталазы в сохранении бактерий в ассоциациях с пресноводными микроводорослями [2], способными продуцировать перекись водорода во внешнюю среду [25], у выделенных штаммов была оценена выраженность данного признака.

Таблица 1. Фенотипическая характеристика выделенных штаммов бактерий-ассоциантов галофильных микроводорослей

	Штамм Dun 1/5	Штамм Dun 2/7	Штамм Ast.
Цвет колоний	бежевые	светло-бежевые	бежевые
Численность при высеве	$1.5 \times 10^5$ КОЕ/мл	$1.5 \times 10^5$ КОЕ/мл	$1,4 \times 10^7$ КОЕ/мл
Морфология	Грамотрицательные палочки $0,7 \times 2,0$ Чаще одиночные, неравномерно окрашенные	Грамотрицательные коккопалочки и палочки $0,7 \times 1,4$ мкм. Чаще одиночные, иногда в скоплениях, неравномерно окрашенные	Грамотрицательные палочки, $0,7 \times 1,8-2,0$ мкм. Одиночные, очень редко есть длинные нити.
Тест Грегерсена (с КОН)	Грамотрицательные	Грамотрицательные	Грамотрицательные
каталаза	+	+/-	+
оксидаза	+	+	-
Образование кислоты из сахаров:			
глюкоза	+	+	+
ксилоза	+	-	+/-
маннит	-	+	+
лактоза	-	-	-
фруктоза	+	+	+
рамноза	+	-	-
мальтоза	-	+/-	+
сахароза	-	+/-	+
отношение к кислороду	строгие аэробы	факультативные анаэробы	строгие аэробы
рост в присутствии 10 г/л NaCl	+	+	+
рост на МПА без NaCl	-	+	+/-

Каталазная активность оказалась довольно стабильным свойством, характеризующим штаммы (Таблица 3). Наиболее высокими значениями отличался штамм *H. janggokensis*, выделенный из культуры *A. gracilis*. У *Halomonas* spp., выделенных из *D. viridis* R5, каталазная активность оказалась ниже. Не было выявлено достоверной разницы в значениях каталазной активности при росте на средах с 10%-ным содержанием NaCl и без добавления NaCl. Полученные значения были сопоставимы с уровнями (0,69-6,5 мкМ/мин×ОД), полученными для бактерий-ассоциантов пресноводных микроводорослей *Scenedesmus obliquus*, *Chlorococcum infusionum*, *Coelastrum microporum*, *Chlamydomonas reinhardtii* [3], хотя в целом их можно охарактеризовать как низкие и средние.

Таблица 2. Сравнение нуклеотидных последовательностей выделенных штаммов бактерий-ассоциантов с данными базы NCBI

Номер штамма	Название штамма (номер в GeneBank)	Источник выделения	Длина фрагмента	Ближайший гомолог (типовой штамм)	Сходство (покрытие)	Источник выделения	Ссылка
Штамм Dun 1/5	<i>Halomonas</i> sp. 1 (OR880267)	Культура микродоросли <i>D. viridis</i> R5	1001	<i>Halomonas halophila</i> CCM 3662 (CP129121)	99.70% (100%)	Засоленные почвы, Аликанте Испания	[7]
				<i>Halomonas salina</i> F8-11 (NR042050)	99.70% (100%)	Засоленные почвы, соленые пруды, озера, море	[24]
Штамм Dun 2/7	<i>Halomonas</i> sp. 2 (OR880268)	Культура микродоросли <i>D. viridis</i> R5	1013	<i>Halomonas fontilapidosi</i> 5CR (NR044519)	99.31% (100%)	Соленое озеро Фуэнте-де-Пьедра, Малага, Испания	[12]
				<i>Halomonas tabrizica</i> TBZ21 (NR178334)	99.31% (100%)	Озеро Урмия, Иран	[23]
Штамм Ast.	<i>Halomonas janggokensis</i> (OR880269)	культура микродоросли <i>A. gracilis</i> T6	990	<i>Halomonas janggokensis</i> M24' (NR042489)	100% (100%)	Пруд для выпаривания соли, остров Анмёндо, Южная Корея	[16]

Таблица 3. Уровень каталазной активности бактерий-ассоциантов, выделенных из культур галофильных микродорослей

Штамм бактерий	Каталазная активность (мкМ/мин × ОД)			
	среднее значение	минимальное значение	максимальное значение	число повторностей
<i>Halomonas</i> sp. 1 (штамм Dun 1/5)	<b>1,38±0,10</b>	1,04	1,68	6
<i>Halomonas</i> sp. 2 (штамм Dun 2/7)	<b>0,88±0,08</b>	0,66	1,15	6
<i>H. janggokensis</i> (штамм Ast.)	<b>3,49±0,05</b>	3,28	3,81	12

### Заключение

Как и большинство представителей рода *Halomonas*, выделенные штаммы нуждаются в Na<sup>+</sup> для роста. Известно, что минимальное значение для роста варьирует у разных видов, что является важным диагностическим

критерием [24]. Штамм *Halomonas* sp. 1 не рос на обычном мясо-пептонном агаре, что согласуется с описанием ближайших гомологов *H. halophila* и *H. salina*, для которых нижний предел солености для роста 2 и 3 г/л, соответственно. Морфологические и тинкториальные свойства штамма *Halomonas* sp. 1 были в большей степени сходны с описанием вида *H. halophila*, который также является строго аэробным, умеренно галофильным, каталазо- и оксидазоположительным, окисляет глюкозу, но не окисляет лактозу [24]. У штаммов Dun 2/7 и Ast., идентифицированных как *Halomonas* sp. 2 и *H. janggokensis*, наблюдался слабый рост на мясо-пептонном агаре, что объяснимо, так как минимальное требование к присутствию NaCl (до 1%) может обеспечиваться обычными лабораторными средами [24]. Штамм *Halomonas* sp. 2 по фенотипическим свойствам более сходен с *H. tabrizica* [23], а штамм Ast., идентифицированный как *H. janggokensis*, полностью соответствует характеристикам данного вида [24]. Известно, что *H. janggokensis* может использовать глицерин как источник углерода для роста [16]. В то же время *Asteromonas gracilis*, как и представители рода *Dunaliella*, продуцирует в больших количествах глицерин [20].

Известно, что представители рода *Halomonas* широко распространены в природе, выделяясь из всех типов соленых местообитаний, в том числе воды, осадков гипергалинных водоемов, засоленных почв, прудов для выпаривания соли, вне зависимости от географического расположения и климатических особенностей. Также эти бактерии обнаруживались в ассоциации с морскими животными и объектами аквакультуры [24]. Описан вид бактерий *H. socia* из культуры *Dunaliella salina* [9]. Полученные данные демонстрируют, что зеленые галофильные микроводоросли – это характерный биотоп для представителей рода *Halomonas*, что согласуется с данными метабаркодинга по гену 16S рРНК. Однако механизмы возможных взаимодействия и их значение как для микроводорослей, так и бактерий, предстоит изучить с привлечением не только культуральных, но и «-омиксных» технологий. Таким образом, полученные данные расширяют представления об экологии рода *Halomonas* и составе прокариот в ассоциациях с галофильными микроводорослями.

(Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-10062, <https://rscf.ru/project/23-24-10062/>)



### Благодарности

Авторы выражают благодарность к.б.н. М.Е. Игнатенко (Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН) за предоставленную для работы культуру микроводоросли *A. gracilis* Тб.

Исследование выполнено на базе ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин О.В., Сгибнев А.В., Черкасов С.В., Иванов Ю.Б. Изменение активности каталазы *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P под влиянием метаболитов микроорганизмов, выделенных из разных экотопов. Микробиология. 2002. Т. 71. № 2. С. 183.
2. Вольберг М.М. Взаимодействие популяций микроводорослей и бактерий в модельной системе: Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. Москва, 1988. 24 с.
3. Игнатенко М.Е. Характеристика симбиотических связей микроорганизмов в альгобактериальных сообществах природных водоемов. Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. Оренбург, 2008. 19 с.
4. Немцева Н.В., Игнатенко М.Е. О находке галотолератной водоросли *Asteromonas gracilis* Artari в Оренбургской области. Поволжский экологический журнал. 2012. № 1. С. 99-104.
5. Селиванова Е.А. Симбиотические связи микроорганизмов в планктонных сообществах соленых водоемов. Автореф. дисс. ...канд. мед. наук. Оренбург, 2007. 22 с.
6. Соловченко А.Е., Селиванова Е.А., Чеканов К.А., Сидоров Р.А., Немцева Н.В., Лобачева Е.С. Индукция вторичного каротиногенеза у новых галофильных микроводорослей из рода *Dunaliella* (*Chlorophyceae*). Биохимия. 2015. Т. 80. № 11. С. 1724-1730.
7. Arahal D.R., García M.T., Ludwig W., Schleifer K.H., Ventosa A. Transfer of *Halomonas canadensis* and *Halomonas israelensis* to the genus *Chromohalobacter* as *Chromohalobacter canadensis* comb. nov. and *Chromohalobacter israelensis* comb. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2001. № 4. P. 1443-1448.
8. Borowitzka L.J. The microflora. Hydrobiologia. 1981. № 1. P. 33-46.
9. Cao J., Ma H.Y., Li H.Y., Wang K.R., Ruan K., Bai L.H. *Halomonas socia* sp. nov., isolated from high salt culture of *Dunaliella salina*. Extremophiles. 2013. Vol. 17. № 4. P. 663-668.
10. Fukami K., Nishijima T., Ishida Y. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. Hydrobiologia. 1997. № 358. P. 185-191.
11. Gonzalez L.E., Bashan Y. Increased growth of the microalga *Chlorella vulgaris* when co-immobilized and cocultured in alginate beads with the plant-growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. Appl Environ Microbiol. 2000. № 66. P. 1527-1531.
12. Gonzalez-Domenech C.M., Martinez-Checa F., Quesada E., Bejar V. *Halomonas fontilapidosi* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying bacterium. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2009. Vol. 59. № 6. P. 1290-1296.
13. Gregersen T. Rapid method for distinction of Gramnegative from Gram-positive bacteria. Eur J Appl Microbiol Biotechnol. 1978 № 5. P. 123-127.
14. Grossart H.P., Simon M. Interactions of planktonic algae and bacteria: effects on algal growth and organic matter dynamics. Aquatic Microbial Ecology. 2007. № 47. P. 163-176.
15. Joint I., Henriksen P., Fonnes G.A., Bourne D., Thingstad T.F., Riemann B. Competition for inorganic nutrients between phytoplankton and bacterioplankton in nutrient manipulated mesocosms // Aquatic Microbial Ecology. 2002. № 29. P. 145-159.
16. Kim K.K., Jin L., Yang H. C., Lee S.T. *Halomonas gomseomensis* sp. nov., *Halomonas janggokensis* sp. nov., *Halomonas salaria* sp. nov. and *Halomonas denitrificans* sp. nov., moderately halophilic bacteria isolated from saline water. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2007. Vol. 57. № 4. P. 675-681.
17. Krug L., Erlacher A., Markut K., Berg G., Cernava T. The microbiome of alpine snow algae

- shows a specific inter-kingdom connectivity and algae-bacteria interactions with supportive capacities. The ISME Journal. 2020. № 14. P. 2197-2210.
18. Leifson E. Determination of carbohydrate metabolism of marine bacteria. J Bacteriol. 1963. № 85. P. 1183-1184.
  19. Mayali X., Doucette G.J. Microbial community interactions and population dynamics of an algicidal bacterium active against *Karenia brevis* (Dinophyceae). Harmful Algae. 2002. № 1. P. 277-293.
  20. Oren A. Glycerol metabolism in hypersaline environments. Environmental microbiology. 2017. Vol. 19. №. 3. P. 851-863.
  21. Park Y., Je K.W., Lee K., Jung S.E., Choi T.J. Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by coinoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. Hydrobiologia. 2008. № 598. P. 219-228.
  22. Selivanova E.A., Khlopko Y.A., Plotnikov A.O. The prokaryotic diversity in cultures of halophilic phototrophic and heterotrophic protists. Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Biologia. 2019. Vol. 64. №. 1. P. 92-92.
  23. Vahed S.Z., Forouhandeh H., Tarhriz V., Chaparzadeh N., Hejazi M.A., Jeon C.O., Lee Y. *Halomonas tabrizica* sp. nov., a novel moderately halophilic bacterium isolated from Urmia Lake in Iran. Antonie van Leeuwenhoek. 2018. № 111. P 1139-1148.
  24. Ventosa A., de la Haba R.R., Arahal D.R., Sanchez-Porro C. *Halomonas*. Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria. 2015. P. 111.
  25. Zepp R.G., Skurlatov Y.I., Pierce J.T. Algal-induced decay and formation of hydrogen peroxide in water: its possible role in oxidation of anilines by algae. Photochemistry of environmental aquatic systems. 1987. P 215-224.

Поступила 04.12.2023 г.

(Контактная информация: Селиванова Елена Александровна – кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН; адрес: 460000 г. Оренбург, ул. Пионерская, 11; тел.: 8 (3532) 775417; E-mail: selivanova-81@mail.ru)

---

---

## REFERENCES

1. Bukharin O.V., Sgibnev A.V., Cherkasov S.V., Ivanov Yu.B. The effect of the intra- and extracellular metabolites of microorganisms isolated from various ecotopes on the catalase activity of *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P. Microbiology. 2002. V. 71. P. 154 – 157.
2. Volberg M.M. Interaction of populations of microalgae and bacteria in a model system: Abstract. diss. ...cand. biol. sci. Moscow, 1988. 24 p.
3. Ignatenko M.E. Characteristics of symbiotic relationships of microorganisms in algobacterial communities of natural reservoirs: Abstract. diss. ...cand. biol. sci. Orenburg, 2008. 19 p.
4. Nemtseva N.V., Ignatenko M.E. On the discovery of the halotolerant algae *Asteromonas gracilis* Artari in the Orenburg region. Volga Ecological Journal. 2012. № 1. P. 99-104.
5. Selivanova E.A. Symbiotic relationships of microorganisms in planktonic communities of salty water bodies: Abstract. diss. ...cand. med. sci. Orenburg, 2007. 22 p.
6. Solovchenko A.E., Selivanova E.A., Chekanov K.A., Sidorov R.A., Nemtseva N.V., Lobakova E.S. Induction of Secondary Carotenogenesis in New Halophile Microalgae from the Genus *Dunaliella* (Chlorophyceae). Biochemistry (Moscow). 2015. V. 80. №. 11. P. 1508-1513.
7. Arahal D.R., García M.T., Ludwig W., Schleifer K.H., & Ventosa A. Transfer of *Halomonas canadensis* and *Halomonas israelensis* to the genus *Chromohalobacter* as *Chromohalobacter canadensis* comb. nov. and *Chromohalobacter israelensis* comb. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 2001. № 4. P. 1443-1448.
8. Borowitzka L.J. The microflora. Hydrobiologia. 1981. № 1. P. 33-46.

9. Cao J., Ma H.Y., Li H.Y., Wang K.R., Ruan K., Bai L.H. *Halomonas socia* sp. nov., isolated from high salt culture of *Dunaliella salina*. *Extremophiles*. 2013. Vol. 17. № 4. P. 663-668.
10. Fukami K., Nishijima T., Ishida Y. Stimulative and inhibitory effects of bacteria on the growth of microalgae. *Hydrobiologia*. 1997. № 358. P. 185-191.
11. Gonzalez L.E., Bashan Y. Increased growth of the microalga *Chlorella vulgaris* when co-immobilized and cocultured in alginate beads with the plant-growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Appl Environ Microbiol*. 2000. № 66. P. 1527-1531.
12. Gonzalez-Domenech C.M., Martinez-Checa F., Quesada E., Bejar V. *Halomonas fontilapidosi* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying bacterium. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. 2009. Vol. 59. № 6. P. 1290-1296.
13. Gregersen T. Rapid method for distinction of Gram-negative from Gram-positive bacteria. *Eur J Appl Microbiol Biotechnol*. 1978. № 5. P. 123-127.
14. Grossart H.P., Simon M. Interactions of planktonic algae and bacteria: effects on algal growth and organic matter dynamics. *Aquatic Microbial Ecology*. 2007. № 47. P. 163-176.
15. Joint I., Henriksen P., Fonnes G.A., Bourne D., Thingstad T.F., Riemann B. Competition for inorganic nutrients between phytoplankton and bacterioplankton in nutrient manipulated mesocosms. *Aquatic Microbial Ecology*. 2002. № 29. P. 145-159.
16. Kim K.K., Jin L., Yang H.C., Lee S.T. *Halomonas gomseomensis* sp. nov., *Halomonas janggokensis* sp. nov., *Halomonas salaria* sp. nov. and *Halomonas denitrificans* sp. nov., moderately halophilic bacteria isolated from saline water. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2007. Vol. 57. № 4. P. 675-681.
17. Krug L., Erlacher A., Markut K., Berg G., Cernava T. The microbiome of alpine snow algae shows a specific inter-kingdom connectivity and algae-bacteria interactions with supportive capacities. *The ISME Journal*. 2020. № 14. P. 2197-2210.
18. Leifson E. Determination of carbohydrate metabolism of marine bacteria. *J Bacteriol*. 1963. № 85. P. 1183-1184.
19. Mayali X., Doucette G.J. Microbial community interactions and population dynamics of an algicidal bacterium active against *Karenia brevis* (Dinophyceae). *Harmful Algae*. 2002. № 1. P. 277-293.
20. Oren A. Glycerol metabolism in hypersaline environments. *Environmental microbiology*. 2017. Vol. 19. № 3. P. 851-863.
21. Park Y., Je K.W., Lee K., Jung S.E., Choi T.J. Growth promotion of *Chlorella ellipsoidea* by coinoculation with *Brevundimonas* sp. isolated from the microalga. *Hydrobiologia*. 2008. № 598. P. 219-228.
22. Selivanova E.A., Khlopko Y.A., Plotnikov A.O. The prokaryotic diversity in cultures of halophilic phototrophic and heterotrophic protists. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Biologia*. 2019. Vol. 64. № 1. P. 92-92.
23. Vahed S.Z., Forouhandeh H., Tarhriz V., Chaparzadeh N., Hejazi M.A., Jeon C.O., Lee Y. *Halomonas tabrizica* sp. nov., a novel moderately halophilic bacterium isolated from Urmia Lake in Iran. *Antonie van Leeuwenhoek*. 2018. № 111. P. 1139-1148.
24. Ventosa A., de la Haba R.R., Arahall D.R., Sanchez-Porro C. *Halomonas*. *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. 2015. P. 111.
25. Zepp R.G., Skurlatov Y.I., Pierce J.T. Algal-induced decay and formation of hydrogen peroxide in water: its possible role in oxidation of anilines by algae. *Photochemistry of environmental aquatic systems*. 1987. P. 215-224.

**Образец ссылки на статью:**

Селиванова Е.А., Тынников О.А. Характеристика бактерий-ассоциантов из лабораторных культур галофильных микроводорослей. *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН*. 2023. 4. 10 с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2023-4/Articles/SEA-2023-4.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2023-14001