



УДК 504.455 (285.32)

Н. В. Шадрин, канд. биол. наук, с.н.с., **И. В. Дробецкая**, канд. биол. наук, н.с.,
И. Н. Чубчикова, м.н.с., **Н. В. Терентьева**, вед. инж.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

КАРОТИНОИДЫ В КРАСНОЙ СОЛИ ГИПЕРСОЛЁНОГО КОЯШСКОГО ОЗЕРА (КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ): ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ

Определено содержание каротиноидов в красной соли Кояшского озера – около 40 г на 1 м² поверхностного 1-сантиметрового слоя. Проанализирован каротиноидный состав соли; 94 % каротиноидов приходится на β-каротин. При микроскопическом исследовании соли выявлено обилие цист *Dunaliella*.

Ключевые слова: гиперсолёные озера, красная соль, каротиноиды, *Dunaliella*, галобактерии

На многих гиперсолёных озерах Крыма, как морского, так и континентального происхождения, наблюдается розовая, красная или малиновая окраска соли. Этот феномен ещё в 18 – 19 вв. отмечали в солёных озерах различных регионов Земли и объясняли влиянием как биологических, так и химических факторов [3]. Обобщая результаты исследований, проведённых во Франции в середине 19 в. [4, 6, 12], Г. Федченко подтвердил обусловленность красного цвета соляных рассолов присутствием «микроскопических инфузорий *Monas Dunalii*» [3] (по современной классификации – зелёных микроводорослей рода *Dunaliella*), сделав их первое описание. Учёный не исключал и других причин окрашивания, так как в ряде случаев в образцах красной соли не наблюдалось «признаков инфузорий» [3]. По его мнению, розовая соль была полезнее обычной, и именно её поставляли Российскому императорскому дому. В настоящее время известно, что красная окраска соли может быть обусловлена каротиноидами, синтезируемыми представителями трех доменов организмов – эукариот (*Dunaliella*), архей (галобактерии) и эубактерий (*Salinibacter*) [7, 9, 10]. Целью данной работы было выяснить природу окрашивания соли в

одном из крымских водоёмов – озере Кояшском, входящем в состав Государственного заповедника «Опукский». Озеро расположено на юго-западной равнине Керченского полуострова и представляет собой замкнутую лагуну площадью около 10 км², полное отделение которой от Чёрного моря узкой песчаной косой произошло менее 2 тыс. лет назад. Это мелководное полимиксное озеро характеризуется постоянно высокой солёностью, которая за период исследований не опускалась ниже 160 ‰, а летом нередко превышала 350 ‰. Ионный состав рапы в озере близок к черноморскому. Температура воды летом поднимается до 40° С, зимой снижается до 0° С. Озеро характеризуется низким биоразнообразием: фитопланктон представлен 8 видами, а зоопланктон – одним (*Artemia salina*).

Материал и методы. В августе 2007 г. наиболее интенсивная окраска соли (красно-кирпичная) была отмечена у западного берега озера, где из верхнего 1-см слоя было отобрано два типа проб: с фиксированием и без фиксирования. В качестве образца для количественного определения пигментов брали слой соли с площади 4 см². Экстракцию пигментов проводили по методу Фолча [5], растирая пробу с

кварцевым песком. Содержание каротиноидов (КР) и хлорофиллов (ХЛ) определяли спектрофотометрическим методом с использованием уравнений, предложенных для Chlorophyta [13]. Фракционный состав КР определяли методом тонкослойной хроматографии на пластинах «Silufol» в системе ацетон - гексан (26 : 74). Количество отдельных фракций КР, элюированных с пластины ацетоном, оценивали с помощью коэффициентов удельной экстинкции $E_{1\text{см}}^{1\%}$: для β -каротина – 2500, для остальных КР – 2550 [11].

Результаты и обсуждение. Содержание КР во всей пробе составляло 16.3 ± 0.4 мг, ХЛ $a - 0.083 \pm 0.001$ мг, ХЛ $b - 0.011 \pm 0.001$ мг; соотношение КР/ХЛ $a - 197$. На 1 м^2 солевого слоя приходилось ≈ 40 г КР. Доля β -каротина составляла 93.8 ± 2.4 % КР, лютеина и зеаксантина (в сумме) – около 2 % КР, остальных минорных фракций – около 5 % КР (рис. 1). Полученные величины согласуются с данными других авторов в отношении каротиноидного состава типичного обитателя гиперсолёных водоемов *Dunaliella salina*, у которой

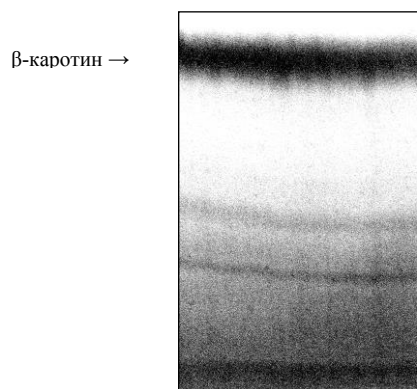


Рис. 1 Хроматограмма пигментов пробы соли из Кояшского озера

Fig. 1 Chromatogram of pigments of salt probe from Koyashskoye lake

Известно, что галобактерии, которые обильно развиваются при высоких солёностях, тоже синтезируют β -каротин (но не в качестве основного КР) [9, 10]. Отсутствие на хроматограмме фракции доминирующего у галобакте-

основным вторичным каротиноидом является β -каротин, а остальные 5 – 6 % приходятся на α -каротин, лютеин, зеаксантин и β -криптоксантин [8].

При микроскопировании нефиксированных проб среди кристаллов соли были обнаружены цисты микроводорослей тёмно-красного цвета диаметром 12 – 16 мкм (рис. 2). На поверхности клеточных оболочек были заметны глобулы β -каротина, что характерно для распределения этого пигмента в клетках *Dunaliella* [9]. Эти глобулы в конце 19 в. Г. Федченко описывал как «пятнышки» на поверхности «инфузорий» [3]. После частичного распреснения полевой пробы (до 90 % – по определению ручным рефрактометром) клетки микроводорослей в течение месяца из стадии цисты перешли в стадию подвижных зелёных монад удлинённо-яйцевидной формы длиной 8 – 9 и шириной около 4 мкм. Данные морфологические признаки соответствуют описанию *D. salina* из других гиперсолёных водоёмов Крыма [2].

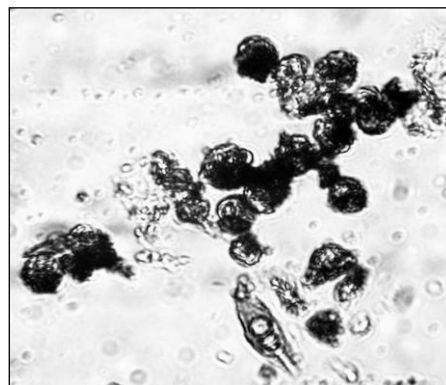


Рис. 2 Клетки *D. salina* с глобулами β -каротина под микроскопом

Fig. 2 *D. salina* cells with β -carotene globules under the microscope

рий красного C_{50} -каротиноида бактериорубрина исключает бактериальное происхождение β -каротина анализируемой пробы. Однако в 2002 г., который был наиболее сухим (а озеро – наиболее солёным), тонкий слой воды в озере

имел интенсивную розовую окраску, но клетки дуналиеллы под микроскопом обнаружены не были. В подобных ситуациях окраску, по всей видимости, вызывают галобактерии.

Заключение. Исследование каротиноидного состава пробы и данные микроскопирования позволяют сделать вывод, что окраска соли Кояшского озера обусловлена массовым развитием *D. salina*, вторичный каротиногенез у которой сопряжён с образованием цист в неблагоприятных условиях (при экстремально

высоких солёности, температуре, освещённости). Способность микроорганизмов к синтезу вторичных КР, являющихся мощными антиоксидантами, позволяет им выживать в экстремальных условиях и поддерживать существование немногочисленной фауны озера. Дальнейшие комплексные исследования помогут решить вопросы, связанные с пониманием функционирования уникальных экосистем гиперсолёных водоемов.

1. Масюк Н. П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* (Теод.). – К.: Наук. думка. – 1973. – 242 с.
2. Сеничева М. И. Зелёная водоросль *Dunaliella salina* в природных условиях // Экология моря. – 2005. – **67**. – С. 61–62.
3. Федченко Г. П. О самосадочной соли и соляных озерах Каспийского и Азовского бассейнов // Известия Импер. Об-ва любителей естествозн., антропол. и этнографии. – 1870. – **5**, No 1. – 112 с.
4. Dunal F. Extrait d'un mémoire sur les algues qui colorent en rouge certains eaux des marais salants méditerranéens // Ann. Sc. Nat. Bot. Sér. 2 – 1838. – **9**. – P. 172.
5. Folch J., Lees M., Stanley G.H.F. A simple method for the isolation and purification of total lipid from animal tissues // J. Biol. Chem. – 1957. – **226**. – No 1. – P. 497 – 509.
6. Joly N. Histoire d'un petit crustacé (*Artemia salina*) auquel on a faussement attribué la coloration en rouge des marais salants méditerranéens, suivie de recherches sur la cause réelle de cette coloration // Ann. Sc. Nat. Zool. Sér. 2. – 1840. – **13**. – P. 225.
7. Lutnaes B. F., Oren A., Livaen-Jensen S. New C₄₀-carotenoid acyl glycoside as a principal carotenoid in *Salinibacter rubber*, an extremely halophilic eubacterium // J. Nat. Prod. – 2002. – **65**. – P. 1340 – 1343.
8. Mortensen A. Carotenoids and other pigments as natural colorants // J. Pure Appl. Chem. – 2006. – **78**. – No 8. – P. 1477 – 1491.
9. Oren A., Dubinsky Z. On the red coloration of salt-tern crystallizer ponds. 2. Additional evidence for contribution of halobacterial pigments // Int. J. Salt Lake Res. – 1994. – **3**. – P. 9 – 13.
10. Oren A., Stambler N., Dubinsky Z. On the red coloration of saltern crystallizer ponds // Int. J. Salt Lake Res. – 1992. – **1**, No. 2. – P. 77 – 89.
11. Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods. – Paris: UNESCO, 1997. – 595 p.
12. Turpin P. J. F. Quelques observations nouvelles sur les Protococcus, qui colorent en rouge les eaux des marais salants. – Comp Rend Acad. Sci., 1839.
13. Wellburn A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // J. Plant Physiol. – 1994. – **144**. – P. 307–313.

Поступила 19 августа 2008 г.

Каротиноїди в червоній солі гіперсолоного Кояшського озера (Крим, Чорне море): попереднє повідомлення. М. В. Шадрін, І. В. Дробецька, І. М. Чубчикова, Н. В. Терентьєва. Визначено вміст каротиноїдів у червоній солі Кояшського озера – 40 г на 1 м² поверхневого шару. Проаналізовано каротиноїдний склад солі: 94 % усіх каротиноїдів припадає на β-каротин. При мікроскопічному дослідженні солі виявлена велика кількість цист *Dunaliella*.

Ключові слова: гіперсолоні озера, червона сіль, каротиноїди, *Dunaliella*, галобактерії

Carotenoids in red salt of the hypersaline Koyashskoye Lake (Crimea, Black sea): Preliminary communication. N. V. Shadrin, I. V. Drobetskaya, I. N. Chubchikova, N. V. Terentyeva. Carotenoid content in red salt from the Koyashskoye Lake has been determined – 40 g per 1 m² of 1-cm surface salt layer. Carotenoid composition has been analysed: β-carotene content is about 94% of total carotenoids. Microscopy study has been shown the abundance of *Dunaliella* cysts in salt.

Keywords: hypersaline lakes, red salt, carotenoids, *Dunaliella*, halobacteria