

Е.А. Селиванова, Н.В. Немцева

E.A. Selivanova, N.V. Nemtseva

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза ОНЦ УрО РАН

Institute for cellular and intracellular symbiosis OSC UB RAS

**ЭКОЛОГИЧЕСКО-ТРОФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОБИОЦЕНОЗА
ГИПЕРГАЛИННОГО ВОДОЕМА НА ПРИМЕРЕ СОЛЬ-ИЛЕЦКОГО ОЗЕРА
РАЗВАЛ (ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**ECOLOGICAL AND TROPHIC CHARACTERISTIC OF MICROBIOCENOSIS OF
HYPERHALINE RESERVOIR ON AN EXAMPLE RAZVAL LAKE (SALT-ILECK,
ORENBURG REGION)**

Аннотация. Представлена комплексная оценка эколого-трофической структуры микробиоценоза гипергалинного Соль-Илецкого озера Развал (Оренбургская область). Показано, что в микробиоценозе гипергалинного водоема присутствуют все основные трофические звенья, формирующие полноценное сообщество на уровне микробной петли. Выявлено присутствие консументов – гетеротрофных жгутиконосцев в озере Развал. Определена интенсивность трофических процессов и установлено, что озеро Развал является водоемом мезотрофного типа. Полученные данные были сравнены с имеющимися в литературе сведениями об аналогичных водоемах других локализаций.

Abstract. The complex estimation of microbiocenosis ecological and trophic characteristic of hypersaline Razval Lake is presented (Salt-Ileck, Orenburg region). It was shown that all basic trophic groups were presented in microbiocenosis of hypersaline reservoir. They formed complete community at the level of a microbe loop. Presence of consumers – heterotrophic flagellates was revealed in Razval Lake. Intensity of trophic processes was defined. It was established Razval Lake to be a mesotrophic reservoir. The obtained data was compared to the literature information on similar reservoirs of other localizations.

Водоемы с экстремальной соленостью широко распространены по всему земному шару и представлены на всех континентах. К местообитаниям с высокими концентрациями солей относятся Большое Соленое озеро (США), Мертвое Море (Израиль), Ассал (Сомали), Солнечное озеро (Синай), озера Западной Австралии, Эльтон (Россия) и др. Среди них известны два типа: континентальные и морские. Если водоемы морского происхождения представляют типичное явление и сходны по своему химическому составу, то континентальные водоемы значительно отличаются по гидрохимическим условиям, и как результат комплекса взаимодействий геологических, климатических и биогеохимических условий, могут быть нейтральными, щелочными и кислотными [1]. Континентальные соленые водоемы часто приурочены к зонам с засушливым климатом, таким регионом является Оренбургская область. Водоемы с повышенной минерализацией традиционно рассматриваются как местообитания с экстремальными условиями существования. Лимитирующее влияние высокой солености способствует формированию специфического биоценоза, структура которого значительно отличается от пресноводной биоты [2]. Экологические особенности этих водоемов в последнее время активно изучаются, и проводится их сравнительное описание. На территории Оренбургской области среди соленых озер наиболее интересным является Соль-Илецкое озеро Развал, рапа которого представляет насыщенный раствор соли. Необходимым условием для понимания механизмов функционирования сообществ водоемов в условиях лимитирующего влияния солености является определение качественного и количественного состава гидробионтов. Поэтому целью данного исследования было дать комплексную оценку

структуры микробиоценоза, оценить интенсивность трофических процессов в озере Развал и сравнить их с литературными данными об аналогичных водоемах других локализаций.

Численность и видовой состав эукариотических микроорганизмов (простейших и микроводорослей) определяли путем световой микроскопии нативных и фиксированных формалином проб. Чистые культуры бактерий получали бактериологическим методом с использованием соответствующих питательных сред. Для выделения денитрификаторов применяли среду Гильтая, нитрификаторов – среду Виноградского, целлюлозоразрушающих бактерий – среду Гетчинсона, тиобактерий – среду Бейеринка, для сульфатредукторов – среду Боарса [3]. Количественный учет проводили методом десятикратных разведений с использованием для пересчета таблиц Мак-Креди. Продукцию и деструкцию органического вещества определяли методом Винберга. Содержание кислорода измеряли по Винклеру [3].

Озеро Развал – нейтральный континентальный водоем, рН – 7,4. Характеризуется высоким содержанием солей, преимущественно хлорида натрия, вплоть до формирования насыщенного и пересыщенного раствора. Имеет площадь около 66100 м², среднегодовая глубина составляет 15 м, примерный объем – 350000 м³.

Установлено, что в исследуемом водоеме в условиях экстремально высокой солености функционирует полноценное микробное сообщество, основу которого составляют микроорганизмы - продуценты, консументы и редуценты, обеспечивающие трансформацию органического вещества. Была оценена структура каждого звена, формирующего трофическую цепь.

Основными продуцентами в озере Развал были одноклеточные галофильные зеленые водоросли рода *Dunaliella*, численность которых в период массового развития достигала 11,8±0,6 млн клеток/л. К доминирующим видам были отнесены *Dunaliella salina* и *Dunaliella viridis*. Эти водоросли, по мнению большинства исследователей, играют роль видов-эдификаторов в гипергалинных водоемах [4].

В качестве деструкторов органического вещества выступают разнообразные группы бактерий. В структуре бактериопланктона в озере Развал отмечено преобладание экстремально галофильных архей, по сравнению с умеренно галофильными и галотолерантными бактериями. Экстремально галофильные археобактерии составляли здесь значительную часть прокариот, что согласуется с данными, полученными для других водоемов подобного типа (Мертвое море), свидетельствующими о доминировании указанной группы бактерий [5]. Численность этой группы бактерий сравнима с таковой в некоторых континентальных озерах Австралии, однако значительно меньше зарегистрированной в Большом Соленом озер и Мертвом море [6]. Обнаруженные экстремально галофильные археи: *Halobacterium salinarum*, *Halococcus morrhue* являются копиотрофами, развивающимися при обилии растворенного органического вещества.

Показано, что в бактериопланктоне озера Развал присутствуют представители основных функциональных групп, осуществляющие круговорот углерода, азота и серы. Здесь присутствовали нитрификаторы (*Nitrosococcus halophilus*), численность которых составила 9,5 КОЕ/мл, и денитрификаторы (*Marinobacter hydrocarbonoclasticus*) - 60 КОЕ/мл. Количество аэробных целлюлозоразрушающих бактерий в озере Развал было 1 КОЕ/мл. Процесс разложения целлюлозы характерен для такого типа водоемов и описан на примере Мертвого моря, Аральского моря. В озере Развал зарегистрированы единичные клетки сульфатредукторов (*Desulfobacterium* sp.) (1 КОЕ/мл) и тионовые бактерии (*Thiobacillus* sp.) (10 КОЕ/мл). При сопоставлении полученных данных с результатами исследования менее соленых водоемов отмечена обратная корреляционная зависимость между средней численностью бактерий перечисленных трофических групп и уровнем солености воды [7]. Вероятно, этот факт объясняется более низкой продуктивностью гипергалинных водоемов, по сравнению с

солончатками и пресными водоемами.

Обнаружено, что в качестве консументов здесь выступают простейшие, представленные только гетеротрофными жгутиконосцами: *Halocafeteria* sp., *Pleurostomum salinum*, *Cafeteria roenbergensis*, *Cafeteria marsupialis*, «*Macropharyngomonas* aff. *halophila*» [8]. Отсутствие других групп простейших, очевидно, свидетельствует об их ограниченной способности приспосабливаться к местообитаниям с экстремальной соленостью. Выступая в качестве консументов, гетеротрофные жгутиконосцы ограничивают численность бактерий и регулируют процессы превращения вещества и энергии в микробиоценозе.

Установлено, что, несмотря на значительное ограничение видового состава гидробионтов в экстремально соленых местообитаниях, здесь функционирует полноценное сообщество, осуществляющее непрерывный круговорот биогенных элементов. Из-за отсутствия более высоких трофических уровней пищевая цепь в экосистеме озера Развал ограничивается микробной петлей, и соответственно, весь органический субстрат, образуемый за счет автотрофного синтеза, усваивается бактериями и гетеротрофными жгутиконосцами. Таким образом, особенностями данного сообщества являются короткие трофические цепи и минимальное число трофических уровней. Учитывая, присутствие в водоеме свободного органического вещества, а также высокую минерализацию, можно предположить, что в водоеме формируются органо-минеральные комплексы, которые являются важным экологическим фактором, способствующим более интенсивной трансформации биогенного вещества в водоеме, присутствующими здесь микроорганизмами [9].

Трофические взаимодействия и интенсивность обменных процессов определяют величину первичной продукции, являющейся интегральной характеристикой интенсивности фотосинтеза. Интенсивность продукционных процессов в озере Развал составляла 1,6 - 2,1 гО₂/м²·сутки. В соответствии с этим показателем озеру был присвоен статус мезотрофного водоема. Установленный уровень продуктивности ниже, по сравнению с солончатыми водоемами [7], демонстрируя, что высокая соленость, ограничивая растворение газов в воде, лимитирует уровень фотосинтетической фиксации углерода [6]. Однако, в целом, продуктивность озера находится на относительно высоком уровне, что позволяет сделать вывод об интенсивности происходящих в нем трофических процессов. При сопоставлении полученных данных с мировыми, можно отметить, что в озере Развал скорость фотосинтеза чуть меньше, чем в Большом Соленом озере (США), где доминирующей водорослью является *Dunaliella viridis*, однако на порядок больше, чем в гипергалинном Розовом озере (Австралия), где доминирует *Dunaliella salina* [10].

Интенсивность процессов разложения органического вещества в озере Развал составила 1,5 – 1,9 гО₂/м²·сутки. Исходя из этого, в гипергалинном озере Развал соотношение «продукция/деструкция» оказалось примерно равным 1, что свидетельствует о благоприятной экологической обстановке. Эти данные можно рассматривать как свидетельство способности гипергалинных озер к самоочищению.

Таким образом, показано, что в микробиоценозе гипергалинного водоема присутствуют все основные трофические группы микроорганизмов, формирующие полноценное сообщество. Его функционирование осуществляется на уровне микробной петли, обеспечивающей эффективную трансформацию вещества. Впервые показано, что наряду с продуцентами и редуцентами, в озере Развал присутствуют консументы, представленные гетеротрофными жгутиконосцами, ограничивающими численность бактерий и регулируемыми процессы превращения вещества и энергии. Видовой список микроорганизмов озера Развал сходен с гипергалинными водоемами других локализаций. Обнаружены новые для территории России гетеротрофные жгутиконосцы: «*Macropharyngomonas* aff. *halophila*», *Pleurostomum salinum* Namyslowski, 1913, *Halocafeteria* sp. По своему трофическому статусу озеро Развал

является мезотрофным водоемом. Соотношение продукции и деструкции вещества свидетельствует об относительно благоприятном экологическом состоянии озера и его способности к самоочищению.

Работа выполнена по гранту № 09-П-4-1037 программы Президиума РАН «Биоразнообразие» и научному проекту УрО РАН 10-4-НП-32.

ЛИТЕРАТУРА

1. Williams W. D. Inland salt lakes: An introduction // *Hydrobiologia*. - 1981. - V. 81. - P. 1-14.
2. Ventosa A., Arahal D.R. Microbial life in the Dead Sea. In: *Enigmatic Microorganisms and Life in Extreme Enviroments*. / J. Seckbach (ed.). - Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 1999. - P. 357-368.
3. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. - М.: Наука, 1989. - 288 с.
4. Post F.J. Microbiology of the Great Salt Lake north arm // *Hydrobiologia*. - 1981. - V. 81. - P. 59-69.
5. Leuko S., Goh F., Allen M.A. et al. Analysis of intergenic spacer region length polymorphisms to investigate the halophilic archaeal diversity of stromatolites and microbial mats // *Extremophiles*. - 2007. - № 11. - P. 203-210.
6. Borowitzka L.J. The microflora // *Hydrobiologia*. - 1981. - V. 81. - P. 33-46.
7. Селиванова Е.А. Симбиотические связи микроорганизмов в планктонных сообществах соленых водоемов. Автореферат ... канд. мед. наук. - Оренбург, 2007. - 23 с.
8. Plotnikov A.O., Selivanova E.A., Nemtseva N.V., Silberman J.D. Biodiversity and ecology of planktonic heterotrophic flagellates in saline lakes // *Protistology*. - 2007. - V.5. - P. 62-63.
9. Щур Л.А., Апонасенко А.Д., Лопатин В.Н., Макарская Г.В. Влияние минеральной взвеси на функциональные характеристики бактериопланктона и деструкцию лабильного органического вещества // *Микробиология*. - 2004. - № 1. - С. 99-104.
10. Hammer U.T. Primary production in saline lakes // *Hydrobiologia*. - 1981. - V. 81. - P. 47-57.