

## СИМБИОТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОБИОНТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

**В статье на основании использования симбиотического подхода обоснованы методические подходы микробиологической оценки экологического состояния водоемов с различным уровнем минерализации, пригодные для системы биомониторинга. Предложены новые оригинальные методы оценки экологического состояния водных экосистем, включающие наряду с количественными показателями качественные характеристики биоты.**

**Ключевые слова:** микроорганизмы, симбиоз, биотические факторы, абиотические факторы, экологическое состояние, биомониторинг.

Одной из глобальных проблем современного общества является загрязнение водной среды, имеющее негативные глобальные биологические последствия. Индикаторами этих изменений могут служить микроорганизмы, обладающие высокой экологической пластичностью в силу своих уникальных физиолого-биохимических и генетических особенностей.

Биологические методы микробной индикации занимают все более важное место в решении проблемы загрязнения природных вод. Эти методы дают возможность выявлять экологические изменения среды задолго до необратимых эффектов у гидробионтов. В настоящее время ведется поиск новых принципов оценки экологического состояния водоемов, опирающихся на учет не только количественных, но и качественных параметров биоты.

Водные экосистемы, в состав которых помимо эукариот, входят и прокариоты, представляют собой экологически значимые сообщества, представляющие собой сложные симбиотические комплексы, что свидетельствует не только об эволюционной значимости феномена симбиоза, но и о том, что он является центральным аспектом жизни [8].

По определению А.А. де Бари (1879) «Симбиоз (от греч. symbiosis) – это продолжающееся тесное сожительство неродственных организмов». При этом именно де Бари первым понял, что крайности шкалы от паразитизма до мутуализма можно рассматривать как разновидности симбиоза [7], [10]. В современной трактовке ассоциативные системы не предполагают высоко специализированных, облигатных связей меж-

ду партнерами, принадлежащими, в том числе, и к разным царствам (растения, животные, грибы, бактерии). В результате современных работ в области симбиологии, опирающихся на системный подход, исследователи стали использовать термин «ассоциативный симбиоз» [5]. В современной концепции, ассоциативный симбиоз рассматривается как многокомпонентная интегральная система, включающая макропартнера (хозяина), стабильные доминантные симбионты и минорные ассоциативные микросимбионты с разнонаправленными воздействиями, определяющими формирование, стабильность существования и продуктивность симбиоза в целом [1].

Исследование структурных особенностей данной интегральной системы позволило обнаружить ее компоненты в микробных водных сообществах. Что касается симбиоза гидробионтов, то для него более важно, что взаимодействие между симбионтами, может быть опосредованным на расстоянии в пространстве и времени, и это, зачастую, сложный и довольно не прямой способ [9].

Качественные и количественные характеристики сообществ микроскопических водорослей во многом определяют развитие организмов других трофических уровней, вследствие чего исследования адаптивных перестроек альгосообществ является приоритетным направлением в симбиологии.

Ранее нами было показано, что экологически значимое сообщество автотрофных организмов, сформированное по типу ассоциативного симбиоза имеет все признаки си-

стеми: целостность, структурированность, взаимосвязь компонентов и их иерархичность. Структурированность по типу ассоциативного симбиоза этого сообщества определяется наличием хозяина (Chlorophyta), доминантов (Euglenophyta, Dinophyta, Bacillariophyta) и ассоциантов (Cyanophyta, Xantophyta), которые участвуют в поддержании гомеостаза [3]. Векторная направленность компонентов ассоциативного симбиоза обуславливает выживание и функционирование альгосообщества в целом. Результаты этих исследований позволили обосновать значение зеленых микроводорослей как фактор, сдерживающий развитие цианопрокариот и определяющий экологический статус водоемов.

В условиях эксперимента при сокультивировании различных комбинаций автотрофных микроорганизмов определена векторная направленность партнеров. Обнаружен эффект прямого и опосредованного воздействия доминантных микросимбионтов на «хозяина». У доминантных микросимбионтов отмечен эффект прямой и опосредованной помощи основному партнеру (хозяину). В первом случае доминант усиливает развитие ассоцианта при его позитивном влиянии на «хозяина», тогда как в условиях противодействия ассоцианта основному партнеру доминант подавляет развитие ассоцианта. Результатом явилось определение функциональной нагрузки взаимодействующих симбионтов [6].

На основании комплексной характеристики микробиоценозов группы водоемов с различной соленостью установлено, что в условиях экологического давления среды (антропогенная нагрузка, повышенная соленость) на фоне упрощения сетевых связей, усиливается значение симбиотических взаимодействий.

Использование симбиотического подхода позволило выявить группу информативных биотических параметров, которые в совокупности с абиотическими факторами оказались пригодными для оценки определения экологического состояния лентических водоемов. Найден алгоритм определения границ уровня трофности, являющийся методическим ключом для отбора информативных параметров и построения математических моделей диагностики уровня трофности различных водоемов. Определены

пограничные значения индекса степени трофности для мезотрофного и эфтрофного водоемов. С помощью регрессионного анализа построена математическая модель, позволяющая с вероятностью 86,5% диагностировать уровень трофии водоемов озерного типа [6].

В процессе наших исследований выявлен универсальный характер механизмов формирования сообществ гидробионтов, обеспечиваемый факторами естественной резистентности эукариот, с одной стороны, и факторами персистенции прокариот – с другой. На основе анализа межмикробных взаимодействий в рамках функциональных систем «лизоцим – антилизоцим», «каталаза – перекись водорода» раскрыто значение персистентного потенциала микросимбионтов при контакте с хозяином в условиях ассоциативного симбиоза гидробионтов [3]. Установлено, что антилизоцимная (АЛА) и каталазная (КА) активности микросимбионтов способствуют их адаптации и выживанию в условиях широкого диапазона минерализации воды природных водоемов.

Функциональная пластичность систем позволяет использовать показатели (АЛА, КА) симбионтов в качестве критериев адаптации к экологическим условиям среды [4]. В частности, для дифференциации доминантного и ассоциативного компонентов симбиоценоза предложено использовать каталазную активность микроорганизмов. Определенный уровень каталазной активности (3,5 усл. ед.) обеспечивает процветание симбионтов в различных условиях среды. Установлено, что каталазная активность способствует адаптации микросимбионтов и их выживанию в условиях широкого диапазона минерализации природных вод.

Полученные нами данные об участии лизоцима гидробионтов в регуляции гетерогенности бактериальных популяций в водных сообществах дополняют гипотезу клонально-селекционного механизма поддержания вирулентности бактерий в процессе их циркуляции среди естественных хозяев в почвенных и водных экосистемах. В ряде экспериментальных моделей на гидробионтах показано, что антилизоцимная активность бактерий противодействует их уничтожению во внешней среде простейшими и водорослями. Вместе с тем, на модели кишечных палочек, изолированных

из различных биотопов (открытые водоемы, очистные сооружения, организм человека), выявлено усиление гетерогенности популяции по антилизоцимному признаку в изменяющихся условиях среды обитания. В этой связи антилизоцимную активность гидробионтов можно рассматривать как один из важных факторов поддержания гомеостаза водных биоценозов. Результаты исследований показали, что антилизоцимная активность гидробионтов может быть использована как для выявления антро-

погенной нагрузки, так и для экологического и санитарного состояния водоемов.

Таким образом, использование симбиотического подхода позволило обновить методическую базу биоиндикации и биомониторинга экологического состояния водоемов с различным уровнем минерализации. Предложены новые оригинальные методы оценки экологического состояния водных экосистем, включающие наряду с количественными показателями качественные характеристики биоты.

6.09.2015

**Работа выполнена при частичной грантовой поддержке:  
по программе Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» №15-12-4-14; РФФИ №13-04-00740; РФФИ №14-04-01796**

**Список литературы:**

1. Бухарин О.В., Лобакова Е.С., Немцева Н.В., Черкасов С.В. Ассоциативный симбиоз. – Екатеринбург: УрО РАН. – 2007. – 264 с.
2. Бухарин О.В., Немцева Н.В. Микробиология биоценозов природных водоемов, Екатеринбург: УрО РАН, 2008, 156 с.
3. Бухарин О.В., Немцева Н.В., Яценко-Степанова Т.Н. Оценка взаимоотношений симбионтов фитопланктонного сообщества // Экология, 2010, (1): 17-21.
4. Литвин В.Ю., Пушкарева В.И. Возможный механизм формирования эпидемических вариантов возбудителей сапронозов в почве или воде // Журн. микробиол. – М.– 1994. -№5. – С. 89-95.
5. Проворов Н.А., Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе // Журн. общ. биологии. – 2001. –Т. 62.– С. 472-495.
6. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В. Устойчивость сообщества автотрофных микроорганизмов как механизм выживания в водоемах // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН [Периодический электронный журнал]. 2012, (3): 9 с. [http:// www. elmag.uran.ru](http://www.elmag.uran.ru)
7. Kutschera U., Niklas K.J. Endosymbiosis, cell evolution, and speciation // Theory Biosciences. – 2005. – V. 124. – P. 1–24.
8. Margulis L., Symbiotic Planet: A New Look At Evolution. Basic Books.– 1998. – p. 2.
9. Peacock K.A. Symbiosis in Ecology and Evolution / In: Dov M. Gabbay, Paul Thagard and John Woods, editors, Handbook of The Philosophy of Science: Philosophy of Ecology. San Diego: North Holland. – 2011. – pp. 219-250.
10. Sapp J. The dynamics of symbiosis: an historical overview// Canadian Journal of Botany.– 2004. – V. 82. – P. 1046–1056.

**Сведения об авторе:**

**Немцева Наталия Вячеславовна**, заведующая лабораторией водной микробиологии  
Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН; доктор медицинских наук, профессор,  
специальность 03.02.03 – «Микробиология»  
e-mail: nemtsevanv@rambler.ru