

Н.В. Немцева, Т.Н. Яценко-Степанова, О.В. Бухарин
N.V. Nemtseva, T.N. Yacenko-Stepanova, O.V. Bukharin
Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза ОНЦ УрО РАН
Institute for cellular and intracellular symbiosis OSC UB RAS

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОРΟΣЛЕВОГО СООБЩЕСТВА И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Аннотация. Исследована альгофлора лентических водоемов Оренбургской области. Сообщество гидробионтов лентических водоемов рассмотрено с позиций ассоциативного симбиоза, включающего макропартнера (хозяина), стабильные доминантные и минорные ассоциативные компоненты. Определена структурированность альгосообщества и функциональная нагрузка симбионтов, что позволяет продвинуться в плане понимания механизмов формирования микробиоценозов и наметить пути решения практических задач. Выявлена группа информативных биотических параметров, которые в совокупности с абиотическими факторами оказались пригодными для оценки трофности лентических водоемов, и, как следствие, для определения экологического состояния водоемов.

Abstract. The algal flora was studied in lentic reservoirs of Orenburg region. The community of hydrobionts of lentic reservoirs is considered as associative symbiosis, including macropartner (owner), stable dominant and minor associative components. The algal community structure and symbionts' functions were determined. It allows to understand the mechanisms of microbiocenosis formation and to plan the ways of the practical problems decision. The group of informative biotic parameters was revealed, which together with abiotic factors can be used for an estimation of lentic reservoirs' trophity and for definition of an ecological condition of reservoirs.

Со сменой симбиотической парадигмы на современном этапе, гидробиоценозы водоемов анализируются с позиций ассоциативного симбиоза [1]. При этом ассоциативный симбиоз, являющийся одной из форм существования и эволюции сообществ, представлен многокомпонентной интегральной системой, включающей макропартнера (хозяина), доминантный симбионт и ассоциативные микросимбионты с разнонаправленными воздействиями, определяющими формирование, стабильность существования и продуктивность симбиоза в целом. Структурированность сообществ по типу ассоциативного симбиоза определена для биоценозов тела человека и для ризосферы растений [2]. Однако водорослевое сообщество с этих позиций не рассматривалось.

Способность водорослей быстро реагировать на смену экологических условий послужила основой их успешного применения для диагностики экологического состояния водоемов [3,4]. При выявлении экологического сдвига в гидробиоценозах наряду с количественными показателями, используемыми в традиционной лабораторной практике, информативными являются качественные характеристики фитопланктона, отражающие состояние биоценологических связей, и, как следствие, экологические свойства среды. В частности, функциональные особенности фитопланктона являются одним из основных критериев трофии водоемов. Однако, несмотря на большое число работ, посвященных диагностике эвтрофикации водоемов, разрешение этой проблемы представляет одну из основных задач современной экологии.

Исходя из этого, целью работы явилось использование симбиотического подхода к определению структурной организации фитопланктонного сообщества и практическое использование для поиска новых подходов к оценке экологического состояния водоемов.

Научный поиск в данном направлении потребовал предварительного анализа структуры и видовой характеристики альгофлоры. По результатам многолетних исследований планктонных сообществ 227 водоемов (большие и малые реки, озера, пруды, водохранилища, эфемерные водоемы) Оренбургской области составлен систематический

список, включающий 1025 видов, разновидностей и форм водорослей, относящихся к 211 родам, 81 семейству, 34 порядкам, 15 классам и 10 отделам [5]. Показано, что наибольшее богатство альгофлоры наблюдалось в озерах, расположенных в поймах рек, что подчеркивает их экологическое значение. В планктоне изученных озер выявлено 518 видов водорослей, представленных 639 внутривидовыми таксонами (включая номенклатурный тип вида), относящихся к 8 отделам, 12 классам, 22 порядкам, 64 семействам и 164 родам. Исходя из структуры, степени и характера развития фитопланктона, а также продукционно-деструкционных процессов установлено, что трофический статус озер и качество вод поддерживается без изменений на протяжении уже более тридцати лет.

Наряду с изучением качественно-количественных характеристик фитопланктонного сообщества нами были рассмотрены биоценотические взаимоотношения. Полученные данные послужили базой для поиска компонентов ассоциативного симбиоза в водорослевом сообществе. При этом особенностью поиска, ведущегося в этом направлении, является то, что в роли хозяина, доминантов и ассоциантов выступают дистантно живущие микроскопические автотрофные организмы с их популяционно-коммуникативными взаимодействиями. Кроме того, само понятие «хозяин» включает в себя совокупность водорослей, выполняющих функцию своеобразного центра организации комплекса фитопланктонного сообщества.

В процессе исследований предложены способы, позволяющие определять структурированность фитопланктонного сообщества, различая макропартнера (хозяина), а также доминантные и минорные компоненты ассоциативного симбиоза водорослей [6].

Первоначально была предпринята попытка выявления постоянных структурно-функциональных компонентов фитопланктонного сообщества. Критерием отбора константных (постоянных) родов водорослей выбрана частота их встречаемости более чем в 50% проб [7]. Из общего числа родов водорослей всех изученных водоемов (164 рода) указанному выше условию соответствовали от 15 до 19 родов.

Во всех исследуемых водоемах обнаружена одинаковая закономерность - максимум константных родов приходился на отдел *Chlorophyta* (*Ankistrodesmus* Corda, *Coelastrum* Näg., *Crucigenia* Morr., *Dictyosphaerium* Näg., *Didymocystis* Korsch., *Kirchneriella* Schmidle, *Oocystis* A. Br., *Scenedesmus* Meyen, *Tetraedron* Kütz. ex Korsch): от 7 до 9 родов в зависимости от состава водорослей в исследуемых водоемах. В остальных отделах (*Cyanophyta*, *Xanthophyta*, *Bacillariophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*) количество представленных родов колебалось по озерам от 0 до 3. *Cyanophyta* были представлены родами: *Anabaena* Bory, *Aphanizomenon* Morr., *Microcystis* (Kütz.) Elenk., *Lyngbya* Ag.; из *Xanthophyta* – *Centritractus* Lemm., *Goniochloris* Geitl.; *Bacillariophyta* – родами: *Stephanodiscus* Ehr., *Cyclotella* Kütz.; *Chrysophyta* – родами: *Dinobryon* Ehr.; из *Euglenophyta* - *Euglena* Ehr.; *Trachelomonas* Ehr.; *Phacus* Duj.; а *Dinophyta* – родами: *Peridiniopsis* Lemm.; *Peridinium* Ehr.

За базовый водорослевой комплекс в наших исследованиях принято фитопланктонное сообщество водоема озерного типа, расположенного в пойме р. Урал в его среднем течении (оз. Кресты, Оренбургская область), представленное комплексом родов микроводорослей из отделов *Chlorophyta*, *Cyanophyta*, *Xanthophyta*, *Bacillariophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*. При определении иерархической структуры планктонных сообществ водорослей водоема использован математический подход с построением чертежей-графов, которые являются удобной моделью для оценки популяционно-коммуникативных поведенческих реакций симбионтов и определения иерархической структуры сообщества микроорганизмов (рис. 1).

Путем корреляционного анализа с применением поочередного искусственного усечения структуры комплекса сообщества с использованием последовательного удаления его симбионтов в объеме отделов, установлена основополагающая структурообразующая роль зеленых водорослей (хозяина), при отсутствии которых общая схема корреляционных связей сообщества кардинально менялась, рассыпаясь на отдельные фрагменты (рис.2).

Была выявлена взаимозависимость представителей некоторых отделов водорослей

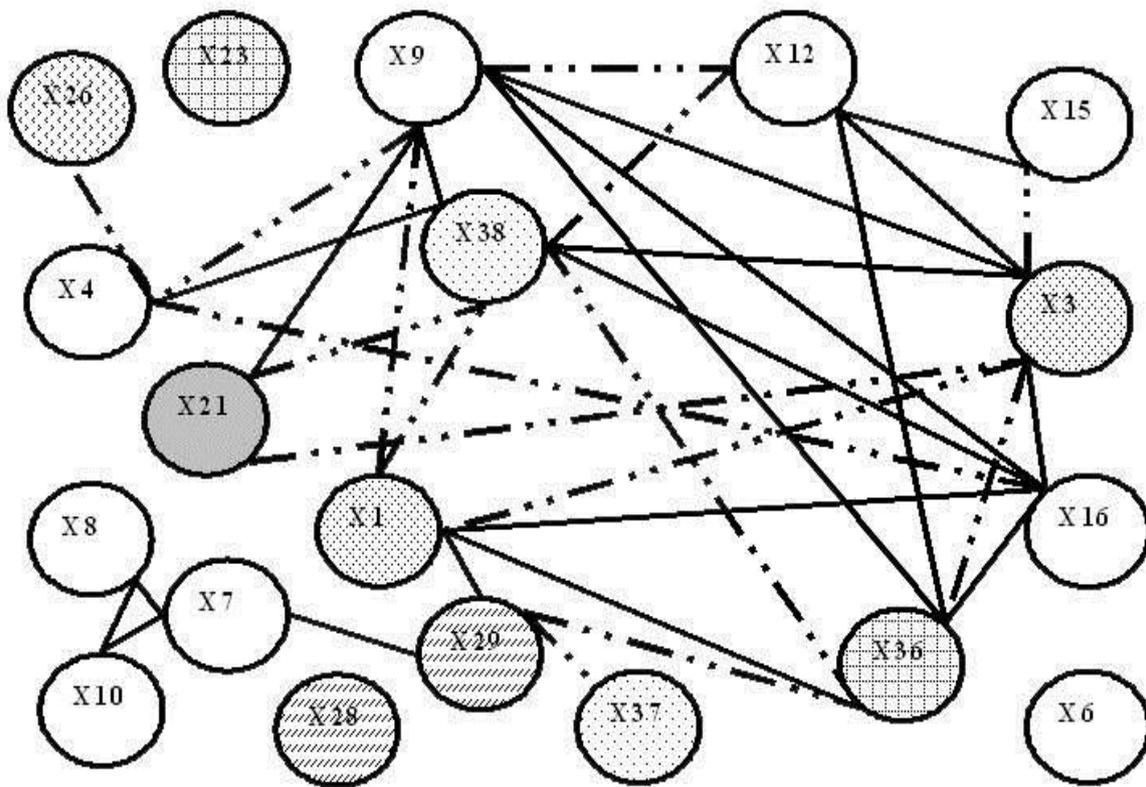


Рис. 1. Схема базового комплекса фитопланктонного сообщества оз. Кресты, включающая все отделы водорослей

— — — Коэффициент корреляции от 0.40 до 0.59;

———— Коэффициент корреляции от 0.60 до 0.75.

-  - Cyanophyta (X1 - *Anabaena* Bory; X3 - *Microcystis* (Kütz.) Elenk.)
-  - Chlorophyta (X4 - *Ankistrodesmus* Corda; X6 - *Coelastrum* Näg.; X7 - *Crucigenia* Morr.; X8 - *Dictyosphaerium* Näg.; X9 - *Didymocystis* Korsch.; X10 - *Kirchneriella* Schmidle; X12 - *Oocystis* A. Br.; X15 - *Scenedesmus* Meyen; X16 - *Tetraedron* Kütz. ex Korsch.)
-  - Xanthophyta (X21 - *Centritractus* Lemm.)
-  - Bacillariophyta (X23 - *Stephanodiscus* Ehr.; X36 - *Cyclotella* Kütz.)
-  - Chrysophyta (X26 - *Dinobryon* Ehr.)
-  - Euglenophyta (X28 - *Euglena* Ehr.; X29 - *Trachelomonas* Ehr.)
-  - Dinophyta (X37 - *Peridiniopsis* Lemm.; X38 - *Peridinium* Ehr.)

друг от друга с «цепочкой взаимозамещения» между Euglenophyta, Dinophyta, Bacillariophyta, что демонстрирует их важность для сохранения структуры водорослевого сообщества. С другой стороны, их искусственное усечение из водорослевого комплекса не приводило к такому радикальному изменению, как вызываемое изъятием *Chlorophyta*. Учитывая формирование «цепочек замещения», можно предположить, что их функциональное предназначение заключается в регуляции устойчивости структуры водорослевого сообщества, что характеризует их с точки зрения ассоциативного симбиоза как доминантных партнеров с определенными хелперными функциями. К «ассоциативным» компонентам симбиоза были отнесены представители отделов Xanthophyta, Cyanophyta и др., отсутствие которых не меняло общую схему структуры фитопланктонного сообщества.

В итоге, в константном комплексе фитопланктона оз. Кресты, было установлено существование компонентов водорослевого сообщества трех уровней значимости: основные базовые компоненты, на которых держится вся структура константного фитопланктонного сообщества (*Chlorophyta*) – хозяева; доминантные микросимбионты с «цепочкой взаимозамещения» (представители отделов *Euglenophyta*, *Dinophyta*, *Bacillariophyta*, *Chrysophyta*), принимающие участие в регуляции устойчивости структуры сообщества;

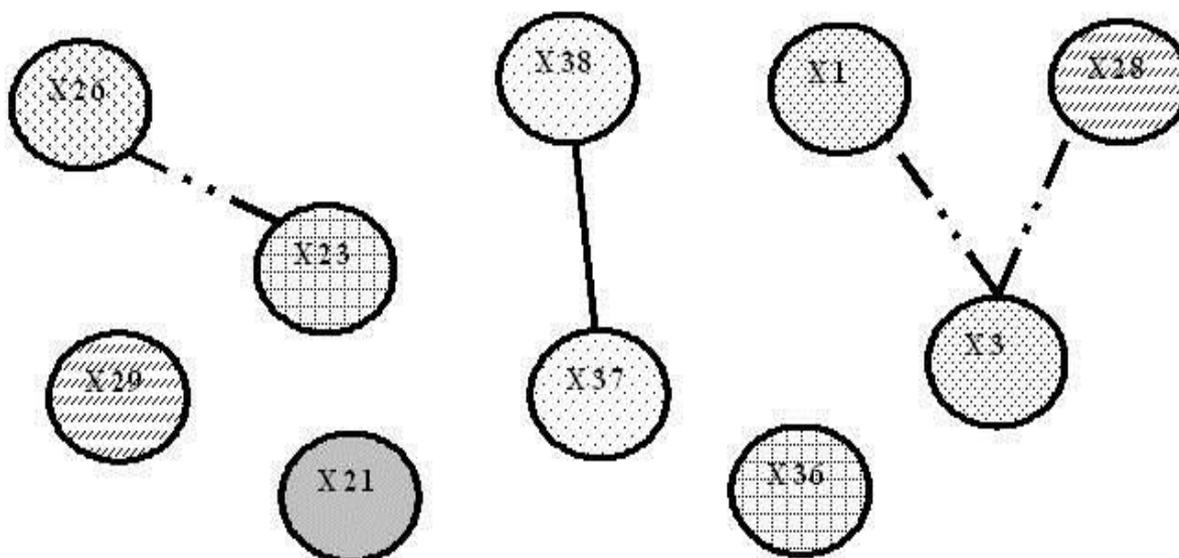


Рис.2. Схема базового комплекса фитопланктонного сообщества оз. Кресты при искусственном усечении и исключении Chlorophyta.

— — — Коэффициент корреляции от 0.40 до 0.59;
 ————— Коэффициент корреляции от 0.60 до 0.75.

- Cyanophyta (X1 - *Anabaena* Bory; X3 - *Microcystis* (Kütz.) Elenk.)
- Xanthophyta (X 21 - *Centrictactus* Lemm.)
- Bacillariophyta (X -23 *Stephanodiscus* Ehr.; X36 *Cyclotella* Kütz.)
- Chrysophyta (X 26 - *Dinobryon* Ehr.)
- Euglenophyta (X28 - *Euglena* Ehr.; X29 - *Trachelomonas* Ehr.)
- Dinophyta (X37 - *Peridiniopsis* Lemm.; X38 - *Peridinium* Ehr.)

«ассоциативные» компоненты (*Xanthophyta*, *Cyanophyta*), отсутствие которых не меняет общую схему структуры фитопланктонного сообщества, но значимость, которых в отдельных случаях повышается [6]. Схема структурно-функциональной организации водорослевого сообщества с позиций ассоциативного симбиоза представлена на рис. 3.

Анализ альгоценозов 9 разнотипных пойменных озер на фоне универсальности структуры сообщества позволил выявить особенности группировок взаимозаменяемых симбионтов, определяемых их зависимостью от экологического состояния водоемов. Так в эвтрофных водоемах повышалась значимость представителей отдела *Cyanophyta*, тогда как в мезотрофных - *Xanthophyta* [8].

Одним из центральных аспектов проблемы ассоциативного симбиоза является управление или искусственное воссоздание микробиоценоза при микроэкологических нарушениях. Решение этой проблемы позволит не только определить ряд теоретических позиций по раскрытию механизмов формирования микробиоценозов, но и достичь прогресса в прикладном аспекте.

Так явление преобладания и массового развития синезеленых водорослей широко известно и наблюдается в периоды их «цветения», приводя к неблагоприятным изменениям качества вод. Используя симбиотические особенности цианобактерий, можно предотвратить их массовое развитие. Предлагаются биотехнологии, основанные на конкуренции цианобактерий и водорослей за места обитания в водоеме [9]. Показано, что, альголизация, т.е. обогащение водоемов зеленой водорослью хлореллой в весенний период предотвращает последующее развитие синезеленых водорослей. С позиций представленных нами данных, демонстрирующих влияние компонентов ассоциативного симбиоза водорослевого сообщества на хозяина, можно объяснить результаты Н.И. Богданова [9], который подошел эмпирически к решению проблемы цветения водоемов путем усиления зеленых водорослей

для восстановления структуры водорослевого сообщества. Это открывает перспективы для использования симбиотического подхода в экологической практике.

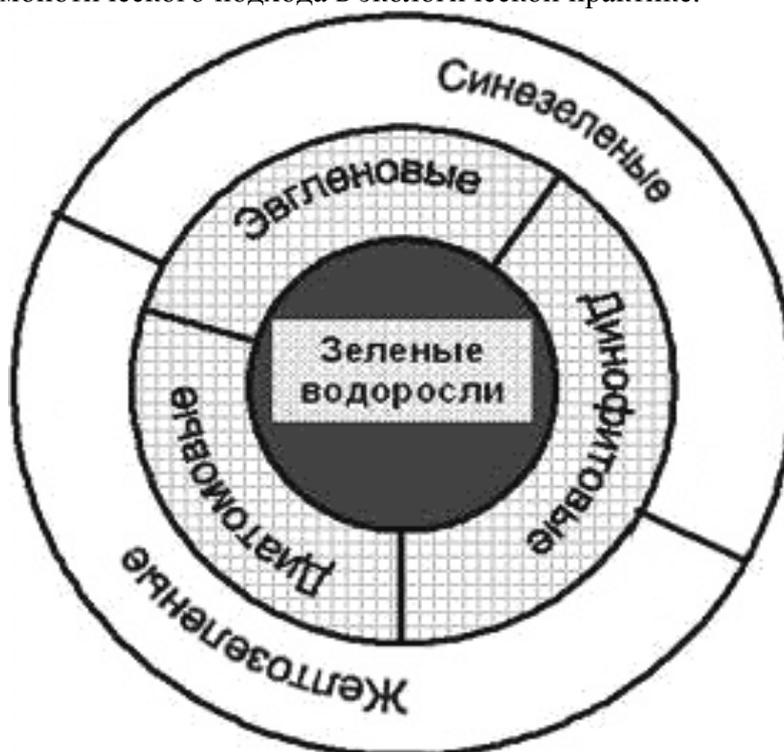


Рис.3. Ассоциативно – симбионтные взаимоотношения сочленов фитопланктонного сообщества

■ - хозяин; ▣ - доминантный партнер; □ - ассоциативный партнер

Экологическая обусловленность реакции компонентов ассоциативного симбиоза нашла практическое применение в оценке уровня трофности водоемов озерного типа. С учетом особенностей симбиотической структуры фитопланктонного сообщества отобраны абиотические и биотические параметры, информативные для определения уровня трофности водоемов, что позволило предложить алгоритм определения границ уровня трофности и разработать метод дифференцировки мезотрофного и эвтрофного состояния пресных непроточных водоемов [10]. Найден алгоритм определения границ уровня трофности и поиска информативных параметров, являющийся методическим ключом для построения математических моделей, пригодных для диагностики уровня трофности водоемов для других физико-географических территорий. Апробация разработанного нового метода экологического состояния лентических водоемов Степного Приуралья выявила простоту его практического применения, возможность ускоренного получения достоверных результатов, что и послужило основанием для использования разработанного метода в системе мониторинга экологического состояния водоемов озерного типа, что является предпосылкой для принятия своевременных природоохранных мер.

Оценивая полученные материалы, можно заключить, что гидробиоценозы и, в частности, альгоценозы, являющиеся открытыми системами с эффектами самоорганизации, их многокомпонентность и сложная интеграция вписывается в концепцию ассоциативного симбиоза. Определение структурированности альгосообщества по типу ассоциативного симбиоза и функциональной нагрузки симбионтов позволило не только продвинуться в понимании механизмов формирования микробиоценозов, но и наметить пути решения практических задач. В частности, показана возможность использования структурных элементов ассоциативного симбиоза альгоценоза в качестве информативных параметров для оценки экологического состояния водоемов.

Работа выполнена по гранту № 09-П-4-1037 программы Президиума РАН «Биоразнообразии»

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин О.В., Немцева Н.В. Микробиология биоценозов природных водоемов. - Екатеринбург: УрО РАН, 2008. - 156 с.
2. Бухарин О.В., Лобакова Е.С., Немцева Н.В., С.В. Черкасов Ассоциативный симбиоз. - Екатеринбург: УрО РАН, 2007. -264 с.
3. Баженова О.П. Барсукова Н.Н., Ракша А.В. Некоторые итоги биомониторинга поверхностных вод Омского Прииртышья // Вестник Том. гос. ун-та, сер. экология. Томск.-2005. - № 13. - С. 74-75.
4. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В., Шабанов С.В. Альгофлора Оренбуржья. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 202с.
5. Бухарин О.В., Немцева Н.В., Яценко-Степанова Т.Н. Оценка взаимоотношений симбионтов фитопланктоного сообщества // Экология. -. 2010. - № 1. -С. 17–21.
6. Иоганзен Б.Г., Файзова Л.В. Об определении показателей встречаемости, обилия, биомассы и их соотношения у некоторых гидробионтов // Элементы водных экосистем. - М.: Наука, 1978. - С. 215–225.
7. Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Количественные методы экологии и гидробиологии. - Тольятти: СамНЦ, 2005. - С. 37 – 67.
8. Яценко-Степанова Т.Н., Немцева Н.В. Структурная организация фитопланктонного сообщества водоемов с позиций концепции ассоциативного симбиоза // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2009. - №12.- С. 72-77.
9. Богданов Н.И. Первичная продукция и микробиология Кай-рак-Кумского водохранилища. Душанбе: Дониш, 1975. -115 с.
10. Немцева Н.В., Яценко-Степанова Т.Н., Бухарин О.В. Определение уровня трофии водоемов озерного типа // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. - 2008. - № 4. - С.101-103.