

## МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ СВОБОДНОЖИВУЩИХ РЕСНИЧНЫХ ИНFUЗОРИЙ (CILIATA, CILIOPHORA) - ИНДИКАТОРОВ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОЕМАХ

Лихачев С.Ф.<sup>1</sup>, Глазырин Д.О.<sup>1</sup>, Линник А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет», Челябинск, Россия (454001, Челябинск, ул. Бр.Кашириных, 129), e-mail:likhashev@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Омский государственный педагогический университет», Омск, Россия (644099, Омск, набережная Тухачевского, 14), e-mail:likhashev@mail.ru

---

Проведен анализ литературных и собственных данных о взаимосвязи морфологических и физиологических признаков, а также экологических особенностей свободноживущих ресничных инфузорий (Ciliata, Ciliophora) для использования их как универсальных организмов-индикаторов качества воды (сапробности) в естественных водоемах и промышленно-бытовых стоках. Показано, что морфофизиологические признаки и свойства инфузорий являются адаптациями к меняющимся условиям среды обитания. Интенсивность движения и питания, темп размножения могут изменяться при аллохтонном загрязнении водоемов и стоков, прежде всего, органическими агентами. Эти морфофизиологические признаки ресничных инфузорий во многом определяют их экологические особенности: встречаемость и распространение в разнотипных водоемах; сезонную динамику видового богатства сообществ; сезонная динамика общей численности и численности отдельных видов. Указанные морфофизиологические и экологические особенности цилиат и определяют их индикаторную ценность для определения качества воды и зон сапробности.

---

Ключевые слова: ресничные инфузории, морфофизиологические и экологические адаптации, виды - индикаторы, сезонная динамика численности, сапробность

## MORPHOPHYSIOLOGICAL AND ECOLOGICAL ADAPTATIONS OF CILIATA (CILIOPHORA), INDICATORS OF QUALITY WATER RESERVOIRS

Likhashev S.F.<sup>1</sup>, Glazirin D.O.<sup>1</sup>, Linnik A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia (454001, Chelyabinsk, street B. Kashirinih, 129), email:likhashev@mail.ru.

<sup>2</sup>Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia (644099, Omsk, nab.Tukhachevski, 14), email:likhashev@mail.ru.

---

The analysis of the literature and our own data on the relationship of morphophysiological features and ecological features of the free-living ciliates (Ciliata, Ciliophora) was made. The obtained data allow us to use them as a universal indicator species of water quality (saprobity) in natural waters and industrial and domestic wastewater. Morphophysiological features and properties of Ciliata are adaptations to changing habitat conditions. The intensity of the movement and power, rate of reproduction can be modified during the allochthonous water pollution and waste organic substances. These morphophysiological Ciliata signs determine largely their ecological features: occurrence and distribution in different types of water basins; seasonal dynamics of the species richness of communities; seasonal dynamics of the population and the number of individual species. These morphophysiological and ecological features of Ciliata and determine their indicator value for determining the quality of water and saprobity areas.

---

Keywords: Ciliophora, Ciliata, morphophysiological and ecological adaptations, indicator species, seasonal dynamics of the population, saprobity.

**Введение.** Свободноживущие инфузории (Ciliata, Ciliophora) имеют всеветное распространение и в большинстве своем эвритопны, т.к. встречаются от лужи до Мирового океана. До недавнего времени система ресничных инфузорий базировалась преимущественно на морфологических данных, полученных с применением оптических систем и некоторых представлений об их ультраструктуре [1, 7]. В 1980 г. была принята система подцарства Protozoa, в которой инфузории были выделены в отдельный тип Ciliophora, а ресничные ин-

фузории были объединены в пределах класса Ciliata [10]. Но с развитием электронной микроскопии и методов молекулярной биологии в последнее десятилетие предпринимаются попытки пересмотра системы Protozoa [2, 7, 8]. В классификации S. Adl с соавторами [8] применен так называемый безранговый подход - иерархия таксонов есть, но их ранги никак не названы: Super-group: Chromalveolata Adl et al., 2005; Phylum-group: Alveolata Cavalier-Smith, 1991; Subphylum-group: Ciliophora Doflein, 1901 = Ciliata Perty, 1852; = Infusoria Bütschli, 1887. При всем уважении к авторам данной классификации их подход чрезвычайно формален и не дает четкого представления о таксономии в пределах типа Ciliophora

В настоящее время насчитывается около 7500 разнообразных по своему строению видов инфузорий, общими признаками которых являются: реснички, инфрацилиатура, пелликула, ядерный дуализм и поперечное деление [1, 7]. Практически все виды инфузорий имеют хорошо развитый первичный рот или цитостом, при помощи которого они способны захватывать пищу. По характеру питания, многие свободноживущие и активно плавающие инфузории относятся к типичным хищникам, другие виды малоподвижны, обычно прикреплены к субстрату или к поверхности тела различных гидробионтов (ракообразных, личинок насекомых и т.п.) и являются типичными фильтраторами. Ресничные инфузории обладают высокой чувствительностью к химическому составу воды, что делает их ценными индикаторами органического загрязнения. Являясь членами гидроценозов, инфузории участвуют в процессах самоочищения воды в водоемах, входят важнейшей составной частью в трофические цепи многих гидробионтов, могут использоваться человеком как организмы-индикаторы для определения чистоты воды в водоемах [3, 6].

**Цель исследования.** Целью настоящего исследования является выявление морфофизиологических и экологических адаптаций свободноживущих ресничных инфузорий, оказывающих влияние на индикаторные свойства этих простейших, что позволяет использовать инфузорий как организмы-индикаторы и выявлять зоны сапробности в водоемах.

**Материал и методы исследования.** Отбор проб цилиапланктона осуществлялся в водоемах лесостепной зоны территорий Омской (старица Увальная Бития, Саргатский район) и Челябинской (озеро Смолино, г. Челябинск) областей в июле 2013 г. и выполнялся с помощью стандартных гидробиологических методов с использованием батометра Фогта [4]. Определение видовой принадлежности найденных особей инфузорий проводилось на живом материале при увеличении ок. х15, об.х40 по описаниям, содержащимся в литературе [3, 9]. Выделенные при видовом описании признаки и свойства анализировались на предмет их ценности для биоиндикации. Культивирование некоторых видов ресничных инфузорий (*Paramecium caudatum*, *Vorticella convallaria*) проводилось в конических колбах с добавлением церофильной среды и культуры бактерии Аэробактер. Влияние некоторых химических аген-

тов (нитратов и ионов меди) изучалось в экспериментах в условиях культур (*Vorticellaconvallaria*) и микроаквариумов (*Parameciumcaudatum*). Виды-индикаторы определенных зоны сапробности водоемов определяли по таблицам индикаторов сапробности [6].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Ресничные инфузории являются универсальными организмами-индикаторами, т.к. полностью отвечают общим критериям. Они, как типичные гидробионты, тесно связаны с водными условиями существования и зависят от этих условий. Ресничные инфузории они очень точно реагируют на изменение факторов среды. Именно ресничные инфузории среди всех Protozoa микропланктона имеют высокую численность и небольшие ее флуктуации в пределах коротких (месяц) временных отрезков. Цилиаты широко всесветно распространены, а некоторые их виды являются космополитами. Многие широко распространенные виды ресничных инфузорий легко определяются таксономически, т.к. имеют ряд надежных морфологических признаков. Для большинства широко распространенных видов цилиат достаточно хорошо изучены некоторые экологические параметры, такие как: их реакция на изменение температуры воды; сезонная динамика численности и биомассы; сапробная валентность и т.п. Несомненно, что ресничные инфузории играют важную роль в экосистемах водоемов, о чем было сказано выше. Кроме того, известно, что такие показатели условий среды как БПК<sub>5</sub>, рН, температура и содержание растворенного в воде кислорода оказывают влияние на морфофизиологическую изменчивость – изменение темпов деления, угнетение эндоцитоза, нарушение осморегулирующих процессов, изменение формы клеток и т.п. При хроническом недостатке кислорода, либо в случае попадания токсических веществ в водоем у вортицелл отпадают задние стебельки, которыми инфузории крепятся к субстрату, на заднем конце тела отрастает венчик ресничек – образуется «бродяжка», плавающая стадия кругоресничных инфузорий[5].

Для выявления морфофизиологических и экологических признаков, имеющих адаптивный характер и определяющих ценные индикаторные свойства ресничных инфузорий были проведены эксперименты по влиянию некоторых химических агентов – нитратов ( $\text{NaNO}_3$  в концентрации, не превышающей ПДК (контроль), 35 мг/л и 45 мг/л) и ионов меди ( $\text{Cu}^{2+}$  в концентрациях не превышающей ПДК - контроль, 0,0001 мг/л и 0,0002). Почему мы исследовали действие нитратов и тяжелых металлов на жизнедеятельность инфузорий, потому, что именно эти вещества являются наиболее встречаемыми в водоемах Омской (нитраты) и Челябинской (медь) областей. В экспериментах были использованы культуры инфузорий *Parameciumcaudatum* и *Vorticellaconvallaria*, выделенные из природных водоемов: Увальная Бития (Саргатский район Омской области) и озеро Смолино (г. Челябинск) в июле 2013 г. Эксперименты проводились с 10-кратной повторностью при разных концентрациях, в качестве контроля использовались концентрации не превышающие ПДК. Основными фикси-

руемыми параметрами инфузорий в экспериментах были интенсивность движения и питания и темп размножения.

Интенсивность движения в условиях микроаквариумов и культуры изменяется от направленного движения к кинезу или беспорядочному движению. При внесении разных концентраций ионов меди в микроаквариумы у особей вида *Parameciumcaudatum* наблюдались беспорядочные движения близкие к кинезам (концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л) или крутящиеся движения (концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  0,0002 мг/л). Тогда как у особей вида *Vorticellaconvallaria* полностью прекращали сокращаться прикрепительные стебельки (концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л) или происходила инвагинация перистомального диска внутри клетки и склеивание мембранелл (концентрация  $\text{Cu}^{2+}$  0,0002 мг/л). Таким образом, влияние повышенных концентраций ионов меди приводит к нарушению движения, как локомоторных ресничек *Parameciumcaudatum*, так и пищевых ресничек (мембранелл) у *Vorticellaconvallaria*. Следует отметить, что в контроле движение ресничек, как локомоторного, так пищевого характера осуществлялось в норме.

В любом случае эти поведенческие (двигательные) реакции приводили к изменениям в интенсивности питания, так как наблюдались отрицательные тенденции в осуществлении таксисов и прежде всего, хемотаксиса. Интенсивность питания инфузорий отслеживали по количеству пищеварительных вакуолей у питающихся инфузорий при окрашивании клетки нейтраль рот (нейтральный красный). Так у питающихся особей *Parameciumcaudatum* в контроле число пищеварительных вакуолей варьировало от 10 до 38, при средней  $24 \pm 0,4$  вакуолей, тогда как при концентрации ионов меди 0,0001 мг/л количество образующихся пищеварительных вакуолей резко уменьшилось до 2-5, при средней  $2,6 \pm 0,3$ . При этом, при концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л в микроаквариумах встречены не питающиеся особи парамеции (около 50,0%). У питающихся особей вида *Vorticellaconvallaria* количество образующихся пищеварительных вакуолей варьировало от 5 до 11, при средней  $6,6 \pm 0,5$  вакуолей. При концентрации ионов меди 0,0001 мг/л количество образующихся пищеварительных вакуолей резко уменьшилось до 1-2, при средней  $1,1 \pm 0,6$  вакуолей. При концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л в культуре около 70,0% особей инфузорий не питались. Следует отметить, что при концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0002 мг/л особи *Parameciumcaudatum* в условиях микроаквариума и *Vorticellaconvallaria* в условиях культуры не питались.

В условиях микроаквариумов ( $t=20^\circ\text{C}$ ) темп деления особей *Parameciumcaudatum* в контроле составляет около 1,5 делений в сутки. При внесении ионов меди различных концентраций темп деления существенно снижается. Так при концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л темп деления в первые 5 суток снижается до 0,2 делений в сутки, а в последующие 5 суток деление полностью прекращается. В условиях культуры ( $t=20^\circ\text{C}$ , церофильная среда) у вида *Vorticel-*

*laconvallaria* деление практически прекращается в течение первых 5 суток. В условиях культуры ( $t=20^{\circ}\text{C}$ , церофильная среда + Аэробактер) у вида *Vorticellaconvallaria* деление в течение первых 5 суток снижается до 0,3 делений в сутки и полностью прекращается на 11 сутки. При концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0002 мг/л деление прекращается практически в первые сутки. Следует отметить, что и в первом и во втором случаях при концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  0,0001 мг/л наблюдалась гибель особей: *Parameciumcaudatum* около 30,0% при экспозиции более 5 суток, а у *Vorticellaconvallaria* до 50,0% при такой же экспозиции.

Действие нитратов ( $\text{NaNO}_3$  в концентрации не превышающей ПДК (контроль), 35 мг/л и 45 мг/л) на исследуемые морфофизиологические признаки ресничных инфузорий несколько мягче, чем ионов меди. Например, темп деления в контроле идентичный, что и при действии ионов меди в контроле. Но, при концентрации  $\text{NaNO}_3$  35 мг/л темп деления падает до 0,6 делений в сутки, а при концентрации 45 мг/л темп деления снижается до 0,2 делений в сутки.

### **Выводы**

1. В условиях эксперимента у особей двух видов ресничных инфузорий -индикаторов зон сапробности водоемов *Parameciumcaudatum* ( $\alpha$ -мезосапробная и полисапробная зоны) и *Vorticellaconvallaria* ( $\alpha$ -мезосапробная зона) были изучены некоторые морфофизиологические признаки: интенсивность движения и питания и темп размножения, которые могут определять такие важные индикаторные показатели как численность и встречаемость видов.

2. Опосредованное воздействие химических агентов – загрязнителей на особей инфузорий происходит по алгоритму: понижение интенсивности движения, изменение направленности движения и переход к хаотичным движениям → снижение интенсивности движения приводит к нарушению интенсивности питания и в конечном итоге прекращение питания → снижение интенсивности питания приводит к снижению темпов размножения и в конечном итоге прекращению репродукции.

3. Снижение темпов размножения оказывает непосредственное влияние на количественные показатели организмов (численность, биомасса), в том числе и ресничных инфузорий. Прекращение репродукции при действии загрязняющих агентов приводит только к одному -к полной гибели популяции.

4. Только адаптивные реакции позволяют исключить ситуацию «полного уничтожения» и такими адаптациями у ресничных инфузорий (Ciliata, Ciliophora) можно считать: всесветное эвритопное распространение; эвритермность многих видов; высокая общая численность цилиат в микропланктоне; широкий пищевой спектр большинства видов ресничных инфузорий (от бактериоядности до потребления личинок рыб и мелких ракообразных и даже «каннибализм»); способности к инцистированию и т.п.

### **Список литературы**

1. Карпов С.А. Система протистов. - Омск: Межвузовская тип. ОмПИ, 1990. - 195 с.
2. Карпов С.А. Протисты. Система протистов и проблемы их мегасистематики. – СПб.: Наука, 2000. Ч. 1. - С.123-145.
3. Лихачев С.Ф. Инфузории водоемов Омской области. - Омск: Изд-во ОмГПУ, 1996. - 102 с.
4. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. - Л.: ГосНИОРХ, 1984. - 34 с.
5. Никитина Л.И., Приходько А.В., Жуков А.В., Трибун М.М.. Цилиофауна природных и техногенных экосистем Среднего Приамурья. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. - 160 с.
6. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Приложение 1. Индикаторы сапробности. - М.: Секретариат СЭВ, 1977. – 227 с.
7. Фокин С.И. Протисты. Тип Ciliophora Doflein, 1901 – Инфузории. Общая часть. – СПб.: Наука, 2007. Ч. 2. – С. 371-414.
8. Adl S.M., Simpson A.G.B., Farmer M.A., Andersen R.A., Anderson R.A., Barta J., Bowser S., Brugerolle G., Fensome R., Fredericq S., James T.Y., Karpov S.A., Kugrens P., Krug J., Lane C., Lewis L.A., Lodge J., Lynn D.H., Mann D., McCourt R.M., Mendoza L., Moestrup O., Mozley-Standridge S.E., Nerad T.A., Shearer C., Smirnov A.V., Spiegel F. and Taylor F.J.R. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists // J. Eukaryot. Microbiol., 2005, 52(5). – P. 399–432.
9. Kahl A. Urtiere oder Protozoa. I: Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria) // Die Tierwelt Deutschlands, Jena, 1930, part 18; 1931, 21; 1932, 25; 1935, 30. - 860 p.
10. Levine N.D., Corliss J.O., Cox F.E.G., Deroux G., Grain J., Honigberg B.M., Leedale G.F., Loeblich A.R., Lom J., Lynn D.H., Merinfeld D., Page F.C., Poljansky G., Sprague V., Vavra J. & Wallace F.G. A newly revised classification of the Protozoa // J. Protozool., 1980. 27. P.37–58.

**Рецензенты:**

Мкртчян О.З., д.б.н., профессор кафедры биологии ФГБОУ ВПО «Омского государственного педагогического университета», г. Омск;

Гашев С.Н., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой зоологии и эволюционной экологии животных ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень.