

# Microperiphyton development in lakes and reservoirs



Zolotarev V.A.\*, Stroinov Ya.V., Kosolapova N.G.

I.D. Papanin Institute for biology of inland waters RAS, Borok, Yaroslavl obl., 152742, Russia

**ABSTRACT.** Biofilms play an important role in the material flux of lakes and other aquatic ecosystems, but little is known about the mechanisms controlling their community structure under natural conditions. In the present study, we focused on the use of artificial substrates for the life strategies of microbial communities investigation. Heterotrophic nanoflagellates (HNF) are known as most important grazers of bacteria in the biofilm communities. The Choanoflagellida have an essential role in microbial food webs contributing to a process of self-purification of water bodies as well as sponge choanocytes, filtering large water volumes. Effects of Cyanobacteria and other pathogenic microorganisms on sponges are very similar to the same effects on Choanoflagellida and HNF in the early phase of biofilm colonization. Standard microbial biofilms (model communities) can serve for ecorobots development.

**Keywords:** biofilms, microbial communities, early warning indicators, artificial substrates, model communities, standardization, ecorobots

**For citation:** Zolotarev V.A., Stroinov Ya.V., Kosolapova N.G. Microperiphyton development in lakes and reservoirs // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 1188-1195. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-1188

## 1. Introduction

The microbial components of aquatic food webs (bacteria, microalgae, heterotrophic and mixotrophic flagellates, and ciliates) can often be important, and sometimes dominant, part of aquatic ecosystems. Heterotrophic flagellates have been recognized as consumers of suspended as well as of attached bacteria (Boenigk and Arndt, 2002). The abundance of individuals in microbial species is so large that dispersal is rarely restricted by geographical barriers. Given their ubiquitous nature, the quantitative and behavioural trophodynamics of protozoans is undoubtedly central to their ecological significance and to the flow energy and materials through the microbial food web (Finlay, 2002). HNF, as the most important grazers of bacteria in biofilm communities, generally contain a diverse community of species significantly differing in their feeding behaviour and other ecological properties. Recent studies of flagellate feeding processes indicated that there are significant species-specific differences and individual variability regarding the food uptake and food selection of bacterivorous flagellates (Boenigk and Arndt, 2002). Variability of bacterivory is discussed regarding the prevailing feeding modes and the feed-

ing microhabitat, respectively. The Choanoflagellida is peculiar group interesting in different aspects such as evolutionary, ecological, and practical. They have an essential role in microbial food webs contributing to a process of self-purification of water bodies as well as are used in monitoring systems (Caron et al., 2012).

## 2. Materials and methods

We have found more than 120 species of heterotrophic nanoflagellates and more than 90 species of ciliates and sarcodines inhabiting the PMC (glass slides) in different water-bodies (Zolotarev, 2007). Studies of microperiphyton communities were conducted in lakes of Karelia, the Rybinsk reservoir, Lake Baikal, Ladoga, acidic lakes of Darwin National Park, in temporal natural wetlands and in experimental microcosms. The basic problem in analysing aquatic ecosystems is their complexity. The difficulty of locating, quantifying and replicating habitat types at various stations along an environmental or pollution gradient has led many investigators to use artificial substrate samplers (Cairns, 1982). By far, the most commonly used artificial substrate has been glass slides (76 x 26 mm), which have the advantage that they can be collected under water by

\*Corresponding author.

E-mail address: [forest753@gmail.com](mailto:forest753@gmail.com) (V.A. Zolotarev)

**Received:** August 02, 2024; **Accepted:** August 21, 2024;

**Available online:** August 30, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



placing them in a jar of water, then transported to the laboratory and placed on the stage of the microscope for direct observation. Glass slides were used to detect the more fragile attached protozoans in vital micropertiphyton communities. These substrates were suspended in the water in a vertical position by means of plastic holders, nylon rope, floats and anchors. Samples were collected by placing exposed slides into jars under the water surface. Two or four replicate substrates were generally harvested from each site on a given day; samples were transported to the laboratory as soon as possible. Samples that could not be analysed immediately were stored at the ambient temperature of the sampling location. All initial identifications and measurements of protozoans were made on living samples usually in 3–5 h after collection. Usually, direct counting was done under the light microscope with 300x magnification, using phase contrast.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Artificial substrates and initial stage of colonization

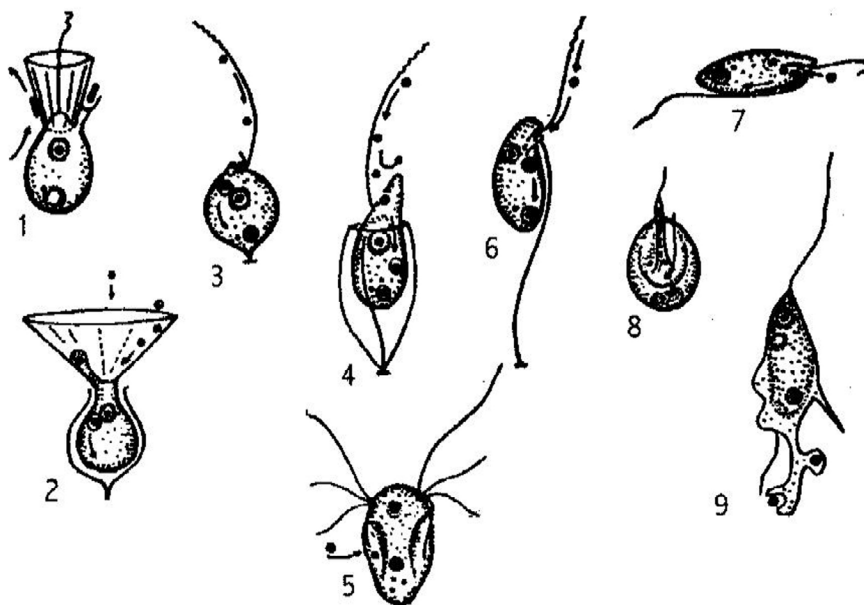
The chief functional role of substrate-associated protozoans appears to be the processing of dead organic matter and its associated bacterial flora. Food consumption of HNF is often aided by specialised feeding organelles which is of importance especially for the detachment of closely attached bacteria. There are differences in the mobility of the HNF also on the substrates which affects the feeding on bacteria (e.g. bodonids and cercozoans, Fig. 1). Bacterivorous organisms should be able to optimize their food uptake by searching for patches of high bacterial abundances. This may explain HNF survival in oligotrophic environments such as lakes. Choanoflagellates are unicellular eukaryotes that are ubiquitous in aquatic habitats. They

have a single flagellum that creates a flow toward a collar filter composed of filter strands that extend from the cell. Choanoflagellates are single celled or colonial HNF, these organisms are widely distributed geographically, some species may be entirely pelagic but most are particularly associated with suspended debris or solid surfaces (Carrias et al., 1998). Recognised as primarily filter feeding bacterivores, the choanoflagellates occupy a vital niche in the microbial loop.

#### 3.2. Functional diversity and model communities: some basic considerations

Biologists usually apply models to reduce the unsolvable problems of complicated systems in of the natural world. The most widely distributed species at the initial stages of colonisation in biofilms (pioneer species) in different lakes and other water-bodies were the colonial choanoflagellates (*Codonosiga botrytis*), dominant in mesosaprobic waters. So, *C. botrytis* can be served as a model organism. In mesosaprobic waters the species diversity of micropertiphyton and the abundance of the colonial choanoflagellates are maximal (from 1000 cells per sq. cm to 50,000 cells per sq. cm), in oligosaprobic and polysaprobic waters the species diversity and abundance of choanoflagellates decreased. By undulating their flagella, choanoflagellates generate local water currents to propel themselves through their aquatic environments and to collect bacteria and detritus on the walls of their collars. Although their collars are nearly undetectable by light microscopy, the flow of water can be discerned as bacterial prey swirl helplessly toward their choanoflagellate predators (King, 2005).

The term ‘indicator species’ is very usual in literature on biological monitoring, but the term ‘indicator communities’, or ‘model communities’, could be



**Fig.1.** Feeding of different bacterivorous nanoflagellates (derived from Zhukov, 1993) by filter-feeding (1, choanoflagellate *Monosiga*), sedimentation (2, choanoflagellate *Choanoeca perplexa*), interception feeding (3, chrysomonad *Spumella*; 4, bicosoecid *Bicosoeca*; 5, diplomonad; 6 bodonid *Bodo saltans*), raptorial feeding by a pharynx (7, bodonid) or by pseudopod like structures (8, apusomonad *Apusomonas*; 9, cercozoan *Cercozoana*) (after Boenigk and Arndt, 2002).

more suitable for a wide range of bioassays (Zolotarev, 2007). Periphyton communities that are formed on artificial substrates can be defined as “periphyton model communities” (PMC). Protists can be served as model organisms, reflecting all the main elements of the biotic circulation in the PMC: phototrophs producing organic matter, heterotrophs, and decomposers, they have acted as models to assess fundamental ecological issues.

### 3.3. The hydrodynamics of filter feeding and choanoflagellate/sponge transition

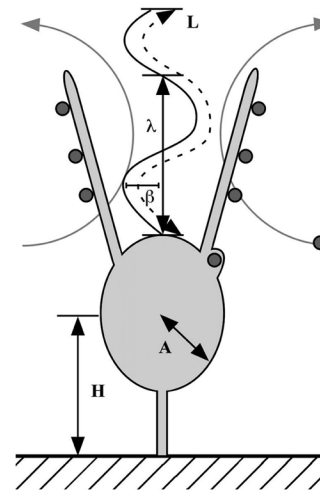
This is important to these purely heterotrophic organisms that rely exclusively on prey captured from a very dilute suspension, requiring them to daily clear a volume of water corresponding to one million times their own body volume. Choanoflagellates are equipped with a single flagellum that creates a flow toward the collar filter where bacteria-sized prey are retained on the microvilli tentacles (Fig. 2., after Pettitt et al., 2002). Movement of the flagellum creates water currents that can trap bacteria and detritus against the collar providing filter-feeding. Choanoflagellates have a huge impact on the food chain, aiding the flow of carbon from primary producers to higher trophic levels (including ourselves!). They comprise 5-40% of heterotrophic nanoflagellates and may filter between 10% and 25% of coastal surface water each day (King, 2005).

Choanoflagellates are filter feeders and an important component of microbial foodwebs (Carrias et al., 1998), and sensitive as sponges (Belikov et al., 2019). They share ancestry with animals and have remarkably common characteristics with the choanocytes of sponges (Cavalier-Smith, 2017). During the past century, choanoflagellates have been the subject of numerous studies with the goal of understanding the evolution of multicellularity in animals. Sponges evolved thus from a craspedid-like stem choanoflagellate (Cavalier-Smith, 2017).

## 4. Conclusions

The age of discovery is not over for protistology. The extent of protistan diversity is vast and still not fully characterized, but genetic approaches are providing new tools for identifying and quantifying abundances and for delving deeply into the taxonomic composition of natural, complex assemblages (Caron et al., 2012).

There are all the main elements of the biotic circulation in the PMC: phototrophs producing organic matter, heterotrophs, decomposers, and the substrate with adsorbed chemicals. New methods based on periphyton communities using polyurethane foam units (PFU) as artificial substrates, was included into the monitoring system of China and Korea, (Gu et al., 2023; Jiang et al., 2007). We must remember our responsibility for the Lake Baikal, explore AI and machine learning enabling new ecological capabilities and knowledge in ecorobots and other emerging techniques.



**Fig. 2.** Cross sectional diagram of filter feeding in choanoflagellates, showing some of the measures used in this paper.  $H$  is the mid-point of the cell above a boundary,  $A$  is the radius of the cell protoplast and  $L$  the length of the flagellum. Grey lines show direction of fluid flow, grey spheres indicate the manner and sites of bacterial capture and ingestion (after Pettitt et al., 2002).

## Acknowledgements

Authors greatly appreciate the advice of Dr. Alexander Mylnikov, Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, and Dr. Alexander Railkin, St. Petersburg State University.

## Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

## References

- Artificial Substrates. 1982. In: Cairns J. (Ed.), Michigan: Ann Arbor Science Publishers.
- Belikov S., Belkova N., Butina T. et al. 2019. Diversity and shifts of the bacterial community associated with Baikal sponge mass mortalities. *PLoS ONE* 14(3): e0213926.
- Boenigk J., Arndt H. 2002. Bacterivory by heterotrophic flagellates: community structure and feeding. *Antonie van Leeuwenhoek* 81: 465-480.
- Caron D.A., Countway P.D., Jones A.C. et al. 2012. Marine protistan diversity. *Annual Review of Marine Science* 4: 467-493.
- Carrias J.-F., Amblard C., Quiblier-Lloberas C. et al. 1998. Seasonal dynamics of free and attached heterotrophic nanoflagellates in an oligomesotrophic lake. *Freshwater Biology* 39: 91-101.
- Cavalier-Smith T. 2017. Origin of animal multicellularity: precursors, causes, consequences—the choanoflagellate/sponge transition, neurogenesis and the Cambrian explosion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372: 20150476.
- Finlay B. 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* 296: 1061-1063.
- Gu S., Zhang P., Luo S. et al. 2023. Microbial community colonization process unveiled through eDNA-PFU Technology in mesocosm ecosystems. *Microorganisms* 11: 2498.

Jiang J., Wu S., Shen Y. 2007. Effects of seasonal succession and water pollution on the protozoan community structure in an eutrophic lake. *Chemosphere* 66(3): 523-532.

King N. 2005. Choanoflagellates. *Current Biology* 15(4): 113-114.

Pettitt M.E., Orme B.A.A., Blake J.R. et al. 2002. The hydrodynamics of filter feeding in choanoflagellates. *European Journal of Protistology* 38: 313-332.

Zhukov B.F. 1993. Atlas of freshwater heterotrophic flagellates (biology, ecology, taxonomy). Rybinsk: Russian Academy of Sciences, 157 p. (in Russian)

Zolotarev V.A. 2007. Water quality monitoring in wetland ecosystems using microbial model communities. *International Journal of Water* 3(3): 231-242.

# Развитие микроперифитона в озерах и водохранилищах

Краткое сообщение

LIMNOLOGY  
FRESHWATER  
BIOLOGY

Золотарев В.А.\* , Стройнов Я.В., Косолапова Н.Г.

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742 п. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н

**АННОТАЦИЯ.** Микроперифитон играет важную роль в потоке органических веществ озер и других водных экосистем, но мало что известно о механизмах, контролирующих структуру их сообществ в естественных условиях. В настоящем исследовании мы сосредоточились на использовании искусственных субстратов для исследования жизненных стратегий микробных сообществ. Гетеротрофные нанофлагелляты (ГНФ) известны как наиболее важные потребители бактерий в биопленочных сообществах. Хоанофлагелляты играют важную роль в микробных пищевых сетях, способствуя процессам самоочистки водоемов, подобно хоаноцитам губок, фильтрующих большие объемы воды. Воздействия цианобактерий и других патогенных микроорганизмов на губок аналогичны таким же воздействиям на хоанофлагеллят и ГНФ на ранних этапах колонизации субстратов. Стандартные микробные биопленки (модельные сообщества) можно использовать для разработки экороботов.

**Ключевые слова:** микроперифитон, микробные сообщества, индикаторы раннего предупреждения, искусственные субстраты, модельные сообщества, стандартизация, экороботы

Для цитирования: Золотарев В.А., Стройнов Я.В., Косолапова Н.Г. Развитие микроперифитона в озерах и водохранилищах // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 1188-1195. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-1188

## 1. Введение

Микробные компоненты водных пищевых сетей (бактерии, микроводоросли, гетеротрофные и миксотрофные жгутиконосцы, инфузории) часто могут быть важной, а иногда и доминирующей частью водных экосистем. Гетеротрофные жгутиконосцы являются основными потребителями планктонных, а также прикрепленных бактерий (Boenigk and Arndt, 2002). Обилие особей в видах микроорганизмов настолько велики, что их распространение редко ограничивается географическими барьерами. Космополитное распространение, количественная и поведенческая трофодинамика простейших, несомненно, имеют решающее значение для присущей им экологической роли и для потока энергии и материалов через микробную пищевую сеть (Finlay, 2002). ГНФ как наиболее существенные потребители бактерий в сообществах биопленок, как правило, содержат разнообразные группы видов, существенно различающихся своим пищевым поведением и другими экологическими свойствами. Недавние исследования процессов питания жгути-

коносцев показали, что существуют значительные видоспецифичные различия и индивидуальная изменчивость относительно потребления и выбора пищи бактериотрофными жгутиконосцами (Boenigk and Arndt, 2002). Вариабельность бактериотрофного питания коррелирует с преобладающими способами питания и трофностью микросреды соответственно. Хоанофлагеллиды (воротничковые) – своеобразная группа ГНФ, интересная в разных аспектах - эволюционных, экологических и практических. Они играют важную роль в микробных пищевых сетях, способствуют процессам самоочистки водоемов, а также используются в биомониторинге (Caron et al., 2012).

## 2. Материалы и методы

Нами обнаружено более 120 видов ГНФ, а также более 90 видов инфузорий и саркодовых, заселяющих искусственные субстраты (стеклянные пластины) в водоемах разного типа (Zolotarev, 2007). Сбор материала производили на Рыбинском водохранилище и озерах Верхней Волги, а также на

\*Автор для переписки.

Адрес e-mail: [forest753@gmail.com](mailto:forest753@gmail.com) (В.А. Золотарев)

Поступила: 02 августа 2024; Принята: 21 августа 2024;

Опубликована online: 30 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



озерах Карелии, на Байкале и в экспериментальных микрокосмах. Основные проблемы при исследовании водных экосистем - это их сложность и трудности выбора репрезентативных станций отбора проб. Многие исследователи решают подобные проблемы путем использования искусственных субстратов (Cairns, 1982). Мы использовали в качестве субстрата стеклянные пластины стандартного размера (76 x 26 мм), обычно некоррозионные предметные стекла для микроскопов. Выбор субстрата обусловлен необходимостью прижизненных наблюдений за мелкими (обычно до 10 мм) организмами, легко повреждаемыми при каком-либо концентрировании проб. Пластмассовые штативы с закрепленными в них стеклянными пластинами для изучения перифитонных сообществ погружают на заданные глубины на шнурах, связанных с поплавком и якорем. Пластины обрастания вынимают из кассет и помещают в баночки (100-250 мл) под поверхностью воды, затем доставляют в лабораторию. Количественный учет жгутиконосцев производят под микроскопом с фазово-контрастным устройством, при увеличении 300х.

### 3. Результаты и обсуждение

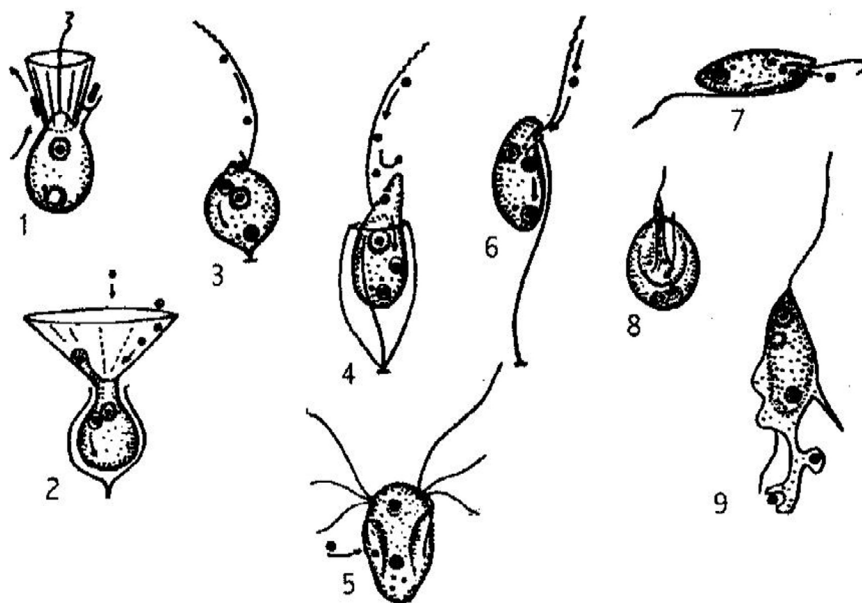
#### 3.1. Искусственные субстраты и начальная стадия колонизации

Основная функциональная роль связанных с субстратом простейших заключается в переработке мертвой органики и связанной с ним бактериальной флоры. Потребление пищи ГНФ часто обеспечивается специализированными пищевыми органеллами, что особенно важно для отделения от субстратов прочно прикрепленных бактерий. Существуют различия в способах движения

ГНФ на субстратах, которые обеспечивают питание бактериями (например, у бодонид и церкомонад, Рис. 1). Бактериотрофные организмы должны иметь возможность оптимизировать потребление пищи путем поиска участков с высоким содержанием бактерий. Это может объяснить выживание ГНФ в олиготрофной среде, такой как озера. Хоанофлагелляты — одноклеточные и колониальные эукариоты, повсеместно распространенные в водных экосистемах. У них есть единственный жгутик, который создает поток к фильтру-воротничку, состоящему из расширяющихся нитей фильтра из клетки. Хоанофлагелляты широко распространены распространены географически, некоторые виды могут быть полностью пелагическими, но большинство из них ведет прикрепленный образ жизни на взвешенных частицах детрита или твердых поверхностях (Carrías et al., 1998). Общепризнанные фильтраторы-бактериофаги, хоанофлагелляты занимают жизненно важную нишу в микробной петле.

#### 3.2. Функциональное многообразие и модельные сообщества: некоторые основные аспекты

Биологи обычно применяют модели для упрощенного понимания сложных систем в мире природы. Наиболее широко распространенный вид на начальных этапах колонизации субстратов («пионерные виды» перифитона) в различных водоемах - колониальные хоанофлагелляты *Codonosiga botrytis*, доминирующие в разнотипных водоемах, этот вид может служить модельным организмом. В мезосапробных водах видовое разнообразие микроперифитона и численность колониальных хоанофлагеллят максимальны (от 1000 клеток на кв. см



**Рис.1.** Питание различных бактериотрофных нанофлагеллят (по Жуков, 1993): фильтрация (1, хоанофлагелляты, *Monosiga*), седиментация (2, хоанофлагелляты, *Choanoecca perplexa*), «перехватывающее» питание (3, хризомонады, *Sputella*; 4, бикозоэциды, *Bicosoeca*; 5, дипломонады; 6, бодониды, *Bodo saltans*), хищное питание глоткой (7, бодониды), или псевдоподиальное (8, апусомонады, *Apusomonas*; 9, церкомонады *Cercomonas*), (по Boenigk and Arndt, 2002).

до 50 000 клеток на кв. см), в олигосапробных и полисапробных водах видовое разнообразие и численность хоанофлагеллят уменьшается. Движением жгутиков хоанофлагелляты генерируют локальные потоки воды, чтобы собирать бактерии и детрит на стенках воротничков. Хотя их воротнички почти не обнаруживаются при световой микроскопии, поток воды можно различить по круговым траекториям частиц детрита и взвешенных бактерий (King, 2005).

Биологический мониторинг водоемов основан главным образом на концепции индикаторных видов, более интегральную картину качества воды могут давать методы, основанные на «индикаторных сообществах», или «модельных сообществах» (Zolotarev, 2007). Специфические группы гидробионтов, формирующиеся на искусственных субстратах, мы назвали модельными сообществами перифитона (МСП), здесь присутствуют основные элементы биотических циклов: фототрофы, гетеротрофы, утилизаторы органики, а также субстрат с адсорбированными веществами.

### 3.3. Гидродинамика фильтрационного питания и вопросы эволюции хоанофлагелляты/губки

Важно отметить, что для этих чисто гетеротрофных организмов, которые полагаются исключительно на пищу, пойманную из очень сильно разбавленной суспензии, что требует ежедневной фильтрации определенного объема воды, соответствующего объему их тела, увеличенного в миллион раз. Единственный жгутик хоанофлагеллят создает поток к воротничковому фильтру, где задерживается добыча размером с бактерию на щупальцах микроворсинок (Рис. 2. (по Pettitt et al., 2002)). Фильтрационное питание хоанофлагеллят составляет огромный вклад в пищевую цепь, способствуя потоку углерода от первичных производителей на более высокие трофические уровни (Carrias et al., 1998). Они составляют существенную долю гетеротрофных нанофлагеллят (5-40%), и играют особую роль в процессах самоочищения водоемов, отфильтровывая до 25% поверхностных вод ежедневно (King, 2005).

Кроме важного вклада в микробные пищевые сети хоанофлагеллят, аналогичная роль в озере Байкал принадлежит губкам, и современные заболевания губок (Belikov et al., 2019) мы можем сравнить с влиянием токсичных цианобактерий на микроперифитон. Удивительно общие характеристики отмечены генетиками у хоанофлагеллят с хоаноцитами губок. В прошлом столетии хоанофлагелляты были предметом многочисленных исследований с целью понять эволюцию многоклеточности у животных (Cavalier-Smith, 2017, и др.).

## 4. Выводы

Эпоха открытий для протистологии продолжается. Велико многообразие протистов, но генетические подходы предоставляют новые инструменты

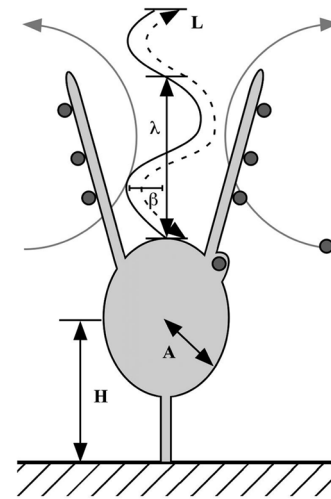


Рис.2. Схема поперечного сечения фильтрационного питания хоанофлагелляты: H — середина ячейки над границей, A — радиус протопласта клетки и L - длина жгутика. Серые линии показывают направление потока жидкости, серые линии сферы указывают способ и место захвата бактерий (по Pettitt et al., 2002).

для идентификации и глубокого изучения сложных природных систем (Caron et al., 2012). Модельные сообщества перифитона также являются одним из инструментов таких исследований, поскольку здесь присутствуют все основные элементы биотического круговорота: фототрофы, продуцирующие органическое вещество, гетеротрофы, редуценты, и субстрат с адсорбированными химическими веществами. Новые методы на основе сообществ перифитона с использованием пенополиуретановых блоков (PFU) в качестве искусственных субстратов, были включены в систему мониторинга в Китае и Южной Корее (Gu et al., 2023, Jiang et al., 2007). Мы должны помнить о своей ответственности за Байкал, включать в исследования искусственный интеллект, разрабатывать экороботы и другие новые технические возможности.

## Благодарности

Выражаем искреннюю благодарность д.б.н. А.П. Мыльникову, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, и проф. А.И. Раилкину, Санкт-Петербургский государственный университет.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

- Жуков Б.Ф. 1993. Атлас пресноводных гетеротрофных жгутиконосцев (биология, экология, таксономия). Наука: Рыбинск  
 Artificial Substrates. 1982. In: Cairns J. (Ed.), Michigan: Ann Arbor Science Publishers.

Belikov S., Belkova N., Butina T. et al. 2019. Diversity and shifts of the bacterial community associated with Baikal sponge mass mortalities. *PLoS ONE* 14(3): e0213926.

Boenigk J., Arndt H. 2002. Bacterivory by heterotrophic flagellates: community structure and feeding. *Antonie van Leeuwenhoek* 81: 465-480.

Caron D.A., Countway P.D., Jones A.C. et al. 2012. Marine protistan diversity. *Annual Review of Marine Science* 4: 467–493.

Carrias J.-F., Amblard C., Quiblier-Lloberas C. et al. 1998. Seasonal dynamics of free and attached heterotrophic nanoflagellates in an oligomesotrophic lake. *Freshwater Biology* 39: 91–101.

Cavalier-Smith T. 2017. Origin of animal multicellularity: precursors, causes, consequences—the choanoflagellate/sponge transition, neurogenesis and the Cambrian explosion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 372: 20150476.

Finlay B. 2002. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science* 296: 1061–1063.

Gu S., Zhang P., Luo S. et al. 2023. Microbial community colonization process unveiled through eDNA-PFU Technology in mesocosm ecosystems. *Microorganisms* 11: 2498.

Jiang J., Wu S., Shen Y. 2007. Effects of seasonal succession and water pollution on the protozoan community structure in an eutrophic lake. *Chemosphere* 66(3): 523-532.

King N. 2005. Choanoflagellates. *Current Biology* 15(4): 113–114.

Pettitt M.E., Orme B.A.A., Blake J.R. et al. 2002. The hydrodynamics of filter feeding in choanoflagellates. *European Journal of Protistology* 38: 313–332.

Zolotarev V.A. 2007. Water quality monitoring in wetland ecosystems using microbial model communities. *International Journal of Water* 3(3): 231–242.