

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ МИКОФЛОРЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

И.В. Иофина

СПб ФИЦ РАН, Институт озераедения РАН

Как гетеротрофные организмы, водные грибы участвуют в минерализации субстратов и в разложении консервативной части растворенного органического вещества. Уровень заспоренности воды пропагулами (грибные зародыши гиф и споры различных типов) является показателем трофии водоема. [Dighton, 2003; Марфенина, 2005; 2007]. Грибы характеризуются высокими адаптационными способностями, занимают самые разнообразные экологические ниши и играют значительную роль в биоценозах [Дудка, 1974]. Развитие водной микофлоры в Ладожском озере связано с возникновением дефицита биологически доступного (минерального) фосфора [Петрова и др. 2010; Меншуткин и др., 2015; Курашов и др., 2018; Иофина, 2019; Митюков, Иофина, 2020]. В условиях антропогенного воздействия на водоем, они могут быть использованы в качестве индикаторов степени загрязнения водоема [Марфенина, 1990; Марфенина, 1994; Терехова, Швед, 1994; Широких, Колупаев, 2009].

Их интенсивное развитие характерно для водоемов, подвергающихся антропогенному эвтрофированию [Марфенина, 2005; Марфенина, Фомичева, 2007; Меншуткин и др., 2015]. Микопланктон может влиять на активность и развитие других гидробионтов. Пути воздействия могут быть различными – от прямого паразитирования до опосредованного влияния путем выделения биологически активных метаболитов [Терехова, 1995]. Массовое развитие микопланктона в Ладожском озере было связано с возникновением дефицита биологически доступного (минерального) фосфора в экосистемных круговоротах в результате интенсивного потребления его водорослями и, в еще большем количестве, бактериопланктоном в ходе антропогенного эвтрофирования озера [Петрова и др. 2010, Меншуткини и др., 2015; Марфенина, 2005; Терехова, 2007; Иофина, 2020].

Задачей исследования, помимо выявления видового состава и распространения микофлоры Ладожского озера, было применение водных грибов для индикации.

Материалы и методы

Ладожское озеро является крупнейшим водоемом Европы. Оно подразделяется на несколько районов, существенно различающихся по многим лимническим показателям. В течение года в большей части Ладожского озера преобладают западные и юго-западные ветры. Средняя месячная скорость ветра в открытой части озера и на большинстве островов с октября по январь— февраль 6—9 м/с, в остальные месяцы 4—7 м/с. В октябре на Ладожском озере часто наблюдаются штормовые ветры со скоростью более 20 м/с, максимальная скорость ветра достигает 34 м/с [Ладожское озеро., 2015]. По морфометрическим и батиметрическим параметрам акватория разделена на несколько неоднородных районов, отличающихся динамикой температурного режима, глубиной, донными отложениями. Для рельефа дна Ладожского озера характерно увеличение глубины с юга на север. Юг озера характеризуется мелководными участками, и соответственно южная часть озера оказывается более тепловодной по сравнению с северной [Курашев и др.2017].

Гидрологические, гидрохимические и гидробиологические процессы определяют особенности каждого района. На основе морфометрического районирования в Ладожском озере были выделены четыре лимнические зоны: прибрежной (глубины менее 15 м), деклинальной (глубины 15–52 м), профундальной (глубины 52–89 м); ультрапрофундальной (глубины более 89 м) [Гусаков, Тержевик,1992].

Пробы отбирались по всей акватории Ладожского озера с поверхности и у дна. Для выделения водных грибов был использован метод глубинного посева воды. [Методы экспериментальной микологии, 1974] Объем пробы в опытах был 5 мл, использовалась агаризованная питательная среда Сабура [ГОСТ 33566-2015]. С целью задержки роста бактерий к среде добавляли смесь антибиотиков. Опыты проводились в чашках Петри. Засеянные чашки Петри инкубировались в течение недели при температуре 18-24°C, выросшие колонии подсчитывались, а представителей отличающихся колоний отсеивали в пробирки со скошенным агаром того же состава [Литвинов, Дудка, 1975]. Видовое определение культур осуществлялось согласно требованиям определителей Lodder [Lodder, 1970] и Пидопличко [Пидопличко, Милько,1975; Пидопличко, 1977]. Этот метод позволяет выделить преимущественно грибы с гифальной структурой таллома, ведущие сапрофитный

и факультативно биотрофный образ жизни [Экология микроорганизмов, 2004; Гарибова, 2005].

Результаты и обсуждение

Проведенный качественный анализ показал, что выделенные виды являются постоянными обитателями экосистемы Ладожского озера. Состав водных грибов был представлен классами: хитридиомицеты, оомицеты, зигомицеты, базидиомицеты и дейтеромицеты. Из оомицетов наиболее распространенными были *Saprolegnia ferax* (Gruith). Из зигомицетов отмечается высокая встречаемость грибов *Mucor circinelloides* (Tieghem), и дейтеромицеты представлены родами *Penicillium*, *Trichoderma*, *Candida* и *Rhodotorula*. Широко распространенные в воде дрожжевые организмы, относящиеся к отделу аскомицетов классу базидиомицетов, были разделены по окраске штриха на окрашенные и бесцветные. Бесцветные формы отнесены по основным признакам к двум видам – *Candida krusei* (Berhout) и *Torulopsis candida* (Saito) Lodder. Все цветные формы принадлежат виду *Rhodotorula rubra* (Schimon) F.C. Harrison, Nouveau Traité Méd. В 2021 году, впервые за последнее десятилетие, не были выделены представители класса хитридиомицетов.

Качественный состав микопланктона, начиная с 2013 года, изменялся в сторону увеличения численности дрожжевых грибов, которые образовывали доминирующий комплекс, однако, в течении последних трех лет отмечалось сокращение их численности. [Курашов и др. 2018, Иофина, 2019; 2020; 2021]. Так, в доминирующий комплекс 2013-2017 гг. входили *Candida krusei* (Berhout), *Torulopsis candida* (Saito) Lodder *Rhodotorula rubra* (Schimon) F.C. Harrison, Nouveau Traité Méd. В 2018-2020 гг. *Penicillium notatum* Thom, *Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries и *Mucor circinelloides* Tieghem. Исследования 2021 года выявили очередное увеличение численности дрожжей, которые опять доминировали.

Анализ частоты встречаемости иллюстрирует разделение микофлоры Ладожского озера на три группы: постоянные, периодические и редкие виды [Семенова, 1994]. Группа постоянных обитателей представлена видами, чье развитие было стабильным на протяжении многолетних наблюдений, колебалась лишь численность того или иного вида

(родов *Mucor*, *Trichoderma*, *Penicillium*). Вторая группа встречается периодически по всей акватории или в отдельных районах озера. К этой группе относятся представители родов *Chytridium*, *Aspergillus*. В третьей группе - виды, встречающиеся эпизодически и имеющие очень низкую численность. Это представители родов *Fusidium*, *Woronina* и др. Устойчивый комплекс мицелиальных грибов, участвующий в деструкционных процессах, составляют первые две группы.

В период 2013-2021 годов наибольшая численность водных грибов регистрировалась в 2013 году и составляла 7000 п/литр, что вероятно было вызвано осенней вспышкой диатомовых водорослей и последствиями интенсивной перестройки озерной биоты [Меншуткин, и др. 2015; Курашев и др., 2018]. В 2015 году зафиксированы самые низкие значения микопланктона с 2009 года, при этом произошла видовая перестройка доминирующего комплекса, возможно вызванная ростом объема новообразованного органического вещества. Доминировали виды как дрожжевых так и спорообразующих грибов [Иофина, 2016]. Затем, в двух последующих годах, отмечалось заметное снижение численности в 2014 - 2000 п/л, 2015- 1200 п/л, далее повышение в 2016 году до 3600 п/л, в 2017 году снижение до 2300 п/л, и далее в 2019г. до 1200 п/л. Небольшое увеличение до 2000 п/л наблюдается в 2020 и 2021 г. (рис.2) [Иофина, 2017; Иофина 2019].

Следует отметить, что при этом сохранилась тенденция видовой перестройки доминирующего комплекса, возможно вызванная ростом объема новообразованного органического вещества.

По акватории озера распределение водной микофлоры неравномерно. Более разнообразен в видовом отношении прибрежный район. Начиная с 2018 года повышенные и максимальные значения фиксировались в прибрежной и в ультрапрофундальной зонах летом и осенью в поверхностном горизонте, в ультрапрофундальной зоне максимальные значения составляли 5800 п/л летом и 5000 п/л осенью.

Впервые в 2021 году в поверхностном слое прибрежного района осенние значения водных грибов превысили летние (рис.3). В предшествующие годы исследований пик численности отмечался только летом, что связано с паводками, поступлением хозяйственно-бытовых стоков и вод притоков. В этом районе всегда определялись виды, развитие которых связано с повышенным содержанием органического вещества и антропогенного загрязнения – *Cladosporium sp.*, *Saprolegnia ferax* (Gruith). В Волховской и

Петрокрепостной губах обнаружены дрожжевые грибы *Torulopsis candida* (Saito) Lodder, что указывает на локальные техногенное воздействие [Сафонов, 2013; Терехова, 2007].

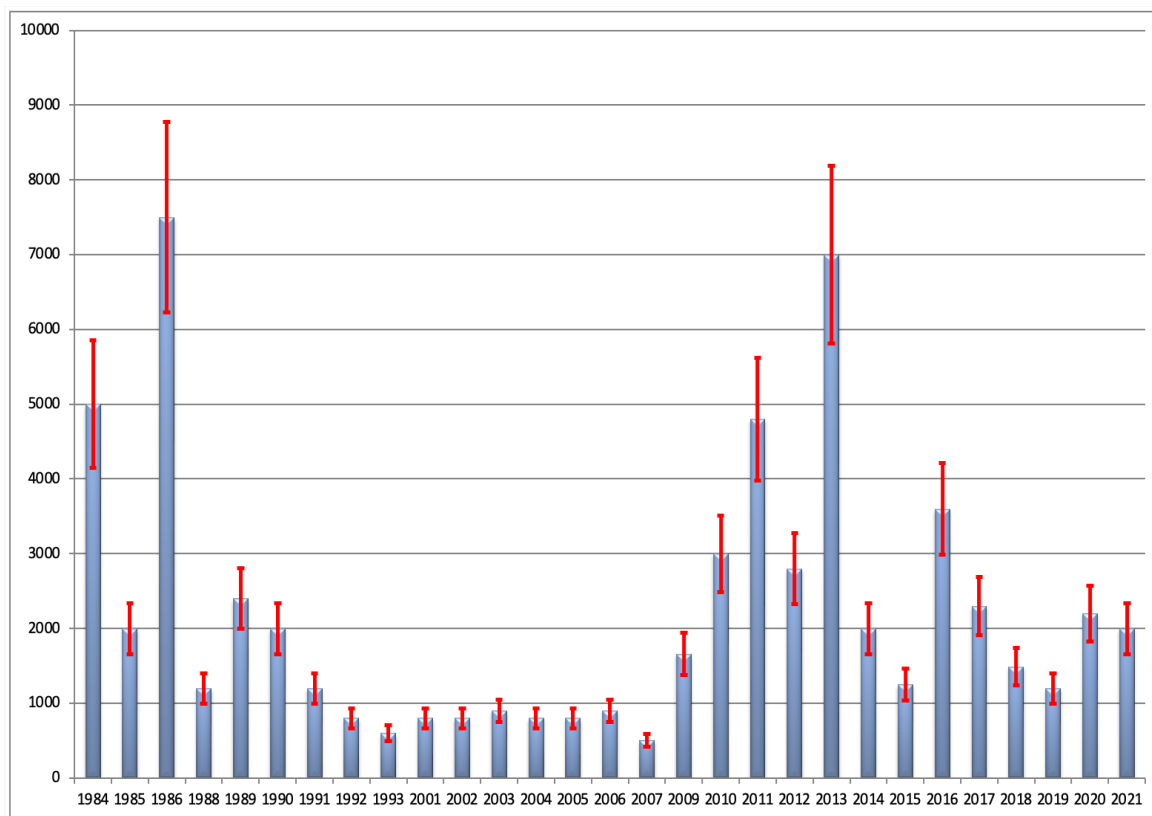


Рис. 2. Численность водных грибов (п/л) по акватории Ладожского озера.

В исследованиях 2021 года не были выявлены паразитарные формы. В придонном горизонте максимальные значения были характерны для всех районов, за исключением ультрапрофундального (рис. 4).

Наиболее интенсивное развитие микопланктона происходит в прибрежном районе. На протяжении всех лет исследований здесь наблюдается высокий количественный и качественный состав, что связано с паводками, поступлением хозяйственно-бытовых стоков и вод притоков. Именно здесь были выделены виды, развитие которых связано с повышенным содержанием органического вещества и антропогенного загрязнения – *S. ferax* (Gruith), *Leptomyces lacteus* (Ag).

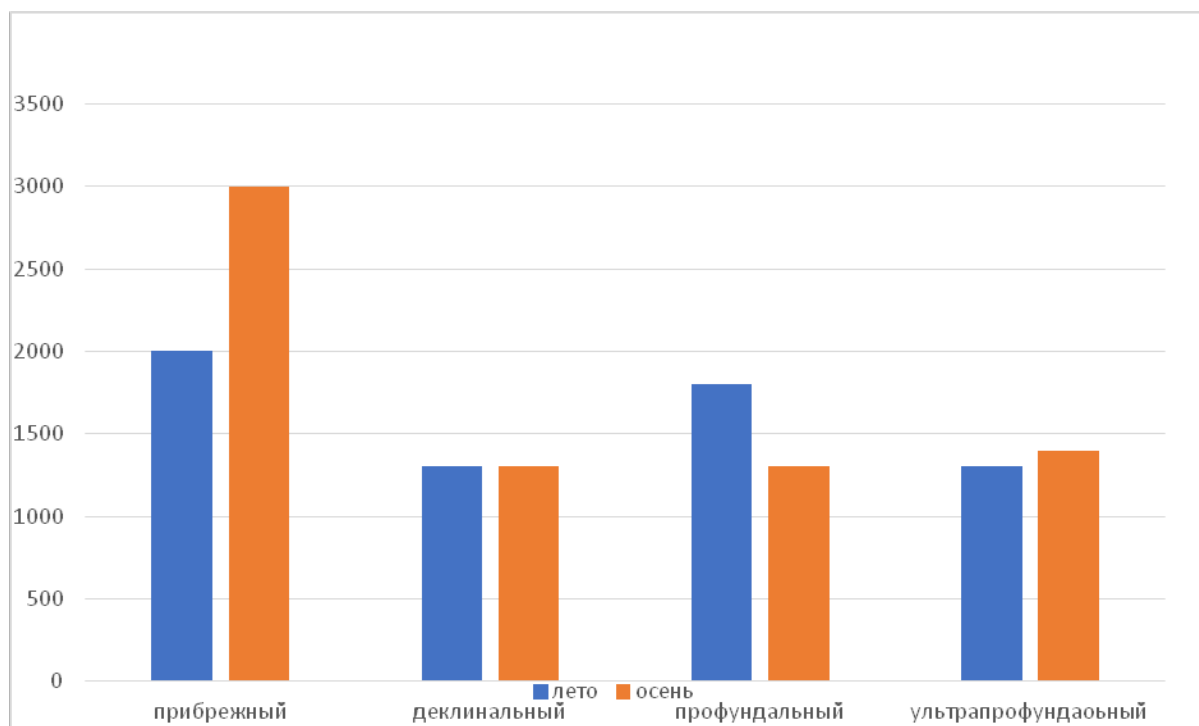


Рис. 3. Распределение микопланктона (п/л) по районам Ладожского озера
(поверхностный слой, лето, осень 2021 г.)

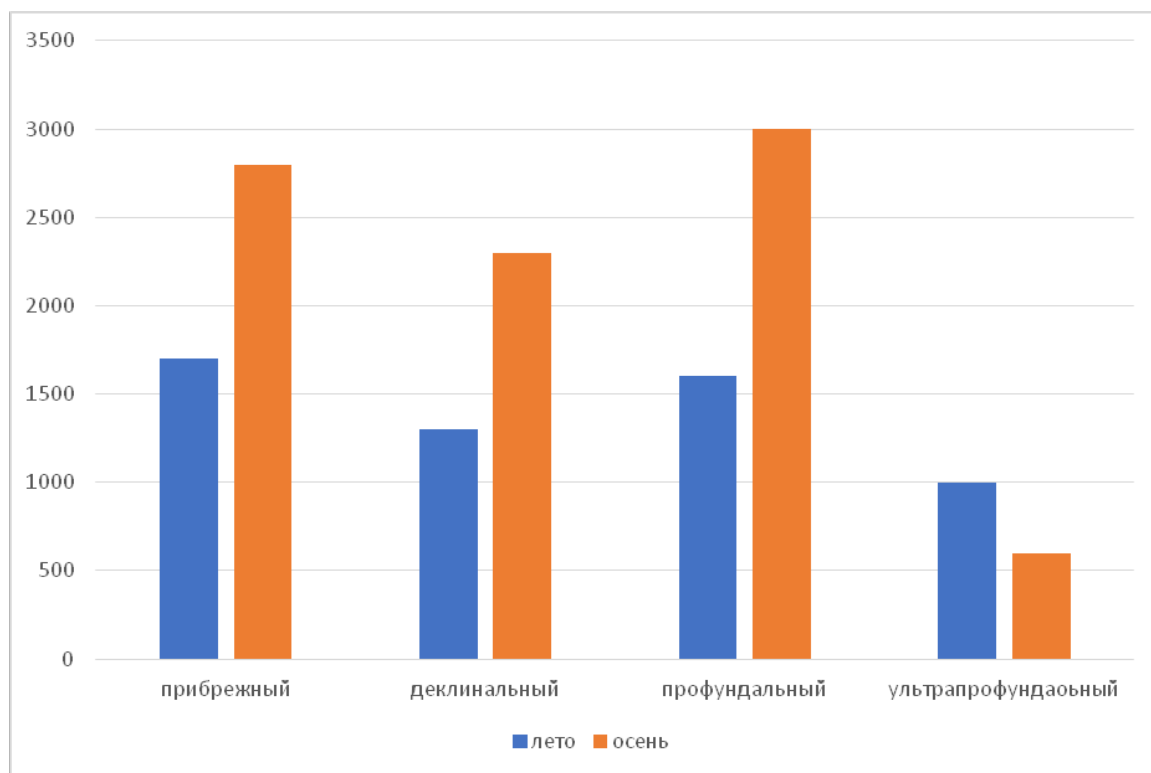


Рис. 4. Распределение микопланктона (п /л) по районам Ладожского озера
(придонный слой лето, осень 2021 г.).

Интерес представляет микофлора шхерной части Ладожского озера. Были исследованы Сортавальская, Питкярантская, Ляскельская, и Якимварская шхеры. Самые высокие значения численности микопланктона на поверхности и в придонном горизонте отмечались в Сортавальском районе.

При разнообразии видового состава выделены виды, характерные для районов с повышенным содержанием органического вещества и антропогенного загрязнения – *S. ferax* (Gruith), *Leptomyces lacteus* (Ag).

Высокая численность микопланктона в Питкярантских шхерах регистрировалась на всех исследованных станциях в придонном горизонте (2400 п/л) при относительно невысоких значениях на поверхности. Качественный состав типичен для локальных техногенных районов с хозяйственно-бытовыми стоками. В Ляскельском районе распределение микопланктона было однородным по всей толще воды и доминировали дрожжевые грибы, что связано с работой целлюлозно-бумажного завода. Было зафиксировано неравномерное распределение водных грибов в Якимварских шхерах (высокая численность на поверхности (2400 п/л), с типичными озерными формами на станции 3 и доминирующими видами, развитие которых связано с повышенным содержанием органического вещества и антропогенным воздействием на станциях 1 и 2 Якимварского залива.

Анализируя данные полученные в 2021 г. следует отметить очередное изменение качественного состава микопланктона в сторону увеличения численности дрожжевых организмов на 15%, перераспределение количественного состава микопланктона по акватории озера и значительное увеличение водной микофлоры в придонном слое осенью. Последний результат находится в некотором противоречии с многолетними данными. Выводы на основании результатов одного года исследований делать преждевременно, но можно предположить, что необычное распределение является следствием гидрометеорологической обстановки на Ладожском озере. Возможно сильные осенние ветры в момент проведения экспедиционных работ привели к интенсивному перемешиванию, вследствие чего новообразованное органическое вещество было перемещено из поверхностных слоев на более глубокие горизонты.

Заключение

Многолетние исследования на Ладожском озере позволили получить индивидуальные экологические характеристики большого количества видов водной микофлоры, которые могут служить основой моделирования их поведения в условиях изменения биогенной нагрузки, климатических факторов в наиболее распространенных местах промышленных сбросов. Полученные таким образом закономерности, наравне с общими представлениями об экологии вида, могут быть положены в основу прогнозирования изменений планктонного сообщества. Разнообразие видового состава планктона формируется в условиях разного радиационного, температурного режима, обеспеченности биогенами и т.д. в различных лимнических зонах на протяжении всего вегетационного периода и определяется экологическими особенностями видов.

Можно предположить, что отмечавшийся в 2013 году рост численности был вызван появлением новообразованного органического вещества за счет осенней вспышки диатомовых и последствиями этапа интенсивной перестройки озерной биоты [Меншуткин и др., 2015]. Следует отметить, что в случае роста объема новообразованного органического вещества в придонных слоях прибрежных районов можно ожидать появления микобиоты с высокой численностью, на порядок и более превышающей текущую, с образованием массовых колоний, что может привести к ухудшению качества вод.

Многолетние ряды комплексных наблюдений на Ладожском озере позволили оценить роль водных грибов в озерной экосистеме в процессе ее эволюции. Полученные данные не показали наличия грибов в таких количествах, которые могли бы привести к ухудшению качества воды. Интерес представляет изменение качественного состава микопланктона и заметное увеличение численности водных грибов в придонных слоях воды.