

МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ ФІЛІАЛ ІНСТИТУТУ БІОЛОГІЇ ПІВДЕННИХ МОРІВ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИБЕРЕЖНОЇ ТА ШЕЛЬФОВОЇ ЗОН  
ТА КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ШЕЛЬФУ

Збірник наукових праць

*выпуск 15*

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

ОДЕССКИЙ ФИЛИАЛ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИБРЕЖНОЙ И ШЕЛЬФОВОЙ ЗОН  
и КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСОВ ШЕЛЬФА

Сборник научных трудов

*выпуск 15*

Севастополь  
2007

## **АБИОТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПАГУЛ ВЫСШИХ МОРСКИХ ГРИБОВ В РАЗНЫХ ВОДНЫХ МАССАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Оценена связь структуры комплексов высших морских грибов с условиями обитания на основе данных по 15-ти абиотическим параметрам: глубина,  $T^{\circ}\text{C}$ ,  $S\%$ ,  $\text{pH}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $P_{\text{орг.}}$ ,  $P_{\text{вал.}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $N_{\text{орг.}}$ ,  $N_{\text{мин.}}$ ,  $N_{\text{вал.}}$ , органическое вещество (по перманганатной окисляемости). Результаты расчетов наивысших значений коэффициента корреляции Спирмана ( $r_{\text{max}}$ ) между биотическими и абиотическими матрицами выявили, что 5 наиболее значимых факторов: валовой фосфор ( $P_{\text{вал.}}$ ) и минеральные формы азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $N_{\text{мин.}}$ ) могут оказывать наибольшее влияние на количественное развитие грибов.

Рост и жизнедеятельность грибов обеспечивают около 20 химических элементов. Особенно велика потребность в таких элементах как углерод, азот, кислород, водород, фосфор, калий, сера и магний [1]. В морской воде содержится большое количество различных растворенных газов, минеральных и органических веществ, многие из которых определяют видовой состав гидробионтов. Нам неизвестны работы о влиянии абиотических условий на распространение грибов в морских экосистемах, но есть предположения, что наиболее существенные из них - температура, наличие субстрата или хозяина, содержание в воде растворенного кислорода, органического углерода, соединений азота, фосфора, глубина и соленость (перечислены в порядке их значимости) [2-4].

Цель данной работы - выявление ведущих абиотических факторов, определяющих особенности структуры комплексов грибов (микокомплексов) в пелагиали открытого Григорьевского (Малого Аджалыкского) лимана и авандельты реки Дунай (северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ)).

Материал и методы. Для анализа использовали данные микологических и гидрохимических исследований водной толщи, полученные в результате комплексных исследований Григорьевского лимана (осень 1992 г., зима - лето 1993 г., лето 2000 г.) и авандельты Дуная (весна, осень 2004 г.) - всего 200 проб.

Определение плотности пропагул (аскоспоры, конидии, склероции, хламидоспоры, клетки гиф, т.е. структуры грибов, способные дать начало новому организму) в воде проводили методом прямого микроскопирования. Пробы воды объемом 250 мл фильтровали в установке Зельца через мембранные фильтры «Синпор» (диаметр пор 2,5 мкм), фильтры фиксировали парами формалина, подсушивали в течение 48 часов при комнатной температуре и просветляли иммерсионным маслом. Подсчет пропагул, измерение и идентификацию спор проводили при увеличении 400 $\times$ , просматривая полностью поверхность фильтра [5].

Химические анализы воды были выполнены сотрудниками лаборатории гидрохимии ОФ ИнБЮМ к.г.н. Ю.И.Богатовой, З.Т.Буланой, С.В.Лагутиным,

к.б.н. А.Ю.Гончаровым под руководством с.н.с. Г.П.Гаркавой (табл.1) [6 – 8].

Статистическая обработка микологических и абиотических данных выполнена с использованием пакета программ многомерного анализа PRIMER v.5.28 [9]. При интерпретации полученных данных руководствовались работами по анализу структур таксоценов диатомовых водорослей, выполненным с применением указанного пакета программ [10, 11]

При построении матриц исходные данные по численности грибов предварительно были  $\log$  – трансформированы для снижения эффекта влияния высокой численности массовых видов на результаты расчетов. Значения абиотических параметров были стандартизированы с предварительной  $\sqrt{x}$  трансформацией. По результатам сопоставления биотической и абиотической матриц сходства (программа *BIOENV*), рассчитаны наиболее высокие значения коэффициента ранговой корреляции Спирмана ( $r_{\max}$ ) для комбинаций абиотических переменных, в наибольшей степени определяющих изменение численности грибов.

Перед проведением кластерного анализа группирования станций на основе сходного уровня ключевых абиотических переменных (оценено по нормальному евклидову расстоянию), абиотическая матрица с первичными данными была преобразована: усредненные значения переменных были

Таблица 1. Диапазон значений физических и гидрохимических параметров в акваториях Григорьевского лимана (осень 1992 г., зима – лето 1993 г., лето 2000 г.) и авандельте Дуная (весна, осень 2004 г.).

параметры	диапазон изменения	
	Григорьевский лиман	авандельта Дуная
глубина, м	0,0 – 17,0	0,0 – 22,5
температура, $T^{\circ}\text{C}$	0,9 – 20,9	0,3 – 17,0
соленость, $S\%$	6,62 – 18,10	6,50 – 18,80
pH	8,06 – 8,86	7,78– 8,83
$O_2$ , мг·дм <sup>-3</sup>	7,30 – 13,43	5,30 – 13,70
$PO_4^{3-}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,005 – 1,710	0,001 – 0,064
$P_{\text{орг.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,004 – 0,911	0,001 – 0,085
$P_{\text{вал.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,001 – 1,098	0,006 – 0,460
$NH_4^+$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,000 – 0,099	0,005 – 0,065
$NO_2^-$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,000 – 0,093	0,000 – 0,270
$NO_3^-$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,004 – 0,098	0,042 – 1,683
$N_{\text{орг.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,088 – 13,332	0,037 – 5,371
$N_{\text{нит.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,005 – 0,138	0,077 – 1,767
$N_{\text{вал.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,151 – 2,271	0,611 – 2,344
перманганат. окисляемость, мг·дм <sup>-3</sup>	1,229 – 5,435	0,849 – 3,700

сгруппированы по станциям (программа *AVERAGE*).

Оценка достоверности различий между выделенными комплексами станций проведена на основе алгоритма сравнения степени варибельности средних значений ранговых сходств (*R*-статистика) для комбинаций всех возможных пар выделенных комплексов (программа *ANOSIM*). [10].

Сходство структуры выделенных грибных комплексов оценено по коэффициенту Брей-Куртиса. Анализ среднего структурного сходства как внутри микокомплексов, так и между ними, выполнены по величинам относительного вклада отдельных видов во внутрикомплексное сходство ( $S_i(\%)$ ) и межкомплексное различие ( $D_i(\%)$ ), а также значениям функций

сходства ( $S$ ) или отличия ( $D$ ). Данные функции представляют собой отношение абсолютных значений вклада  $i$ -го вида в среднее сходство (отличие) между комплексами к стандартному отклонению ( $S = S/Std_{(S)}$  и  $D = Di/Std_{(Di)}$ ) (программа SIMPER). Виды, вносящие максимальный вклад ( $S_i(\%)$ ) в среднее внутрикомплексное сходство станций, названы индикационными, а виды, в наибольшей степени определяющие межкомплексные различия ( $D_i(\%)$ ), – дискриминаторными [9 – 11].

**Результаты и обсуждение.** Исходные биотические матрицы сходства микокомплексов построены по численности пропагул грибов, обнаруженных в пелагиали исследуемых районов. В состав пропагул вошли споры 26 видов, а также споры группы неидентифицированных грибов – *Fungi spp.* и клеток гиф (клетки вегетативного тела грибов, по которым невозможна их идентификация). Выявленные виды разделены на две экологические группы: облигатно и факультативно (наземные виды, способные существовать в морских условиях) морские грибы. Грибы отнесены к представителям отдела Ascomycota (9 видов) и формальной группы Anamorphic Fungi (17 видов). Численность (плотность) пропагул составляла  $115,830 \pm 110,121$  млн. пропагул·м<sup>-3</sup>.

Оценена связь структуры комплексов высших морских грибов с условиями обитания (на основе данных по 15-ти абиотическим параметрам). По результатам расчетов наивысших значений коэффициентов корреляции Спирмана между биотическими и абиотическими матрицами выявлено, что 5 наиболее значимых факторов: валовой фосфор ( $P_{вал}$ ) и минеральные формы азота ( $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_{мин.}$ ) могут оказывать наибольшее влияние на количественное развитие грибов (табл.2).

Из таблицы видно, что относительно высокое значение коэффициента корреляции соответствует комбинации даже из 2 переменных ( $P_{вал}$ ,  $NO_3^-$ ). Однако, для повышения надежности оценки влияния абиотических факторов на особенности структуры микокомплексов, в дальнейший анализ были включены 5 ключевых переменных, для комбинации которых получены наивысшие значения коэффициента корреляции Спирмана (0,521).

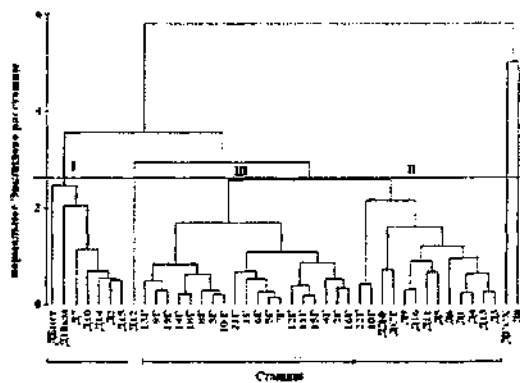
Результаты кластеризации станций на основе их сходства по 5 абиотическим переменным позволили разделить их на 3 группы (кластера) (на уровне 2,5 единиц Евклидова расстояния) (рис. 1).

В первую группу вошли станции, расположенные непосредственно в рукавах или на взморье вблизи устьев рукавов р.Дунай. Во вторую – две морские станции из прилежащего к Григорьевскому лиману района СЗЧМ и станции взморья Дуная (кроме ст.ДСТ – Старостамбульское гирло). В третью – станции Григорьевского лимана. Станции глубоководного судового хода (ДГСХ) и ст.8 (Д8) авандельты Дуная, а также ст.12 (Д12) не были отнесены на

Таблица 2. Наиболее высокие значения коэффициента ранговой корреляции Спирмана ( $r_{max}$ ), полученные для различных комбинаций абиотических переменных.

$r_{max}$	переменные	число переменных
0,515	$P_{вал}$ , $NO_3^-$	2
0,517	$P_{вал}$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , $N_{мин.}$	4
0,521	$P_{вал}$ , $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , $N_{мин.}$	5

Примечание: перечень анализируемых показателей: глубина,  $T$  °C,  $S$  ‰, pH,  $O_2$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $P_{орг.}$ ,  $P_{вал.}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_{орг.}$ ,  $N_{мин.}$ ,  $N_{вал.}$ , органическое вещество (по перманганатной окисляемости).



Р и с . 1. Дендрограмма группирования станций на основании относительного сходства по 5 наиболее значимым абiotическим факторам ( $P_{\text{вал.}}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_{\text{мин.}}$ ).

микокомплексов. Минимальный коэффициент  $R = 0,116$  между I-й и II-й группами указывает на сходство условий обитания данных полигонов.

Средние значения абiotических факторов и структурных характеристик микобиоты каждой группы станций представлены в табл.3. Данные таблицы свидетельствуют о наличии прямой связи между концентрацией в воде ионов  $NO_3^-$  и  $N_{\text{мин.}}$  и плотностью пропагул, наряду с обратной зависимостью между концентрацией этих веществ и числом видов грибов. По всей видимости, данная закономерность связана с особенностями азотного обмена грибов.

По азотному питанию грибы делят на четыре группы, использующие следующие азотные соединения: 1) органический азот,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_2$ ; 2) органический азот,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ; 3) органический азот и  $NO_3^-$ ; 4) только органические соединения азота.

Известно, что большая часть грибов способна существовать продолжительное время, используя ион  $NO_3^-$  в качестве единственного источника азота. До 90 % грибов усваивают  $NO_3^-$  и  $NO_2^-$ . Аммонийный азот необходим зигомикетам (низшие грибы), ряду базидиомицетов и дрожжам (высшие грибы).

Т а б л и ц а 3. Значения (средние  $\pm$  стандартное отклонение) абiotических факторов, плотности пропагул и видового богатства грибов в выделенных группах станций.

№ группы параметры	I	II	III
$P_{\text{вал.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,123 $\pm$ 0,134	0,118 $\pm$ 0,172	0,375 $\pm$ 0,21
$NH_4^+$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,029 $\pm$ 0,009	0,024 $\pm$ 0,017	0,034 $\pm$ 0,025
$NO_2^-$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,018 $\pm$ 0,016	0,001 $\pm$ 0,008	0,007 $\pm$ 0,011
$NO_3^-$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,574 $\pm$ 0,294	0,230 $\pm$ 0,288	0,036 $\pm$ 0,025
$N_{\text{мин.}}$ , мг·дм <sup>-3</sup>	0,622 $\pm$ 0,290	0,261 $\pm$ 0,287	0,077 $\pm$ 0,039
плотность, млн. пропагул·м <sup>-3</sup>	1674,459 $\pm$ 1220,772	272,400 $\pm$ 246,026	1,385 $\pm$ 0,912
плотность спор, %	4,39	3,20	12,32
число видов	2,5 $\pm$ 0,82	3,8 $\pm$ 2,69	6,42 $\pm$ 2,90

данном уровне сходства ни к одной из вышеуказанных групп.

Проведена оценка статистической достоверности отличий выделенных групп станций по параметру численности пропагул грибов (ANOSIM-тест). Выявлены различия между группами станций (уровень значимости 0,1%). Усредненный коэффициент корреляции составил  $R = 0,495$ . Максимальное значение коэффициента – 0,664 отмечено при парном сравнении I-й и III-й групп станций, что свидетельствует о достоверном отличии структур

Фосфор усваивается грибами в виде  $PO_4^{3-}$ , органических фосфатов и фосфатэфиров и требуется в меньших количествах, чем азот. Содержание фосфора в грибах меняется в зависимости от возраста: в спорах и в молодом мицелии его всегда больше, чем в старом [1]. На станциях группы III, где концентрация  $P_{вал.}$  выше в 3 раза, а содержание нитратов минимально, выявлена наименьшая плотность пропагул, 12,32 % от которой составляют споровые структуры, и максимальное среднее число видов (6). На станциях группы I, где зарегистрированы максимальные концентрации нитратов, но низкие значения  $P_{вал.}$ , отмечены наибольшие средние плотности пропагул, основная масса которых представлена клетками гиф ( $1674,459 \pm 1120,772$  млн. пропагул·м<sup>-3</sup>), и наименьшее видовое разнообразие (2 – 3 вида).

При сравнении особенностей структуры микокомплексов внутри каждой выделенной группы станций наибольшее среднее сходство (по коэффициенту Брей-Куртиса) отмечено в группе III ( $S_i = 29,47$  %), наименьшее – в группе II ( $S_i = 12,42$  %). Наиболее значимым индикаторным компонентом, обуславливающим внутреннее сходство структуры всех групп станций, выступали клетки гиф, доля которых составляла от 84,02 (III группа) до 92,02 % (I группа) суммарного вклада, показатель функции сходства  $S$  изменялся от 0,5 до 1,07 соответственно. Высокие значения  $S$  свидетельствуют о стабильности вегетативного развития и вегетативного размножения грибов в районе исследования.

Максимальный уровень различия отмечен между I-ой и III-ей группами станций ( $D_i = 97,32$  %), минимальный между I-ой и II-ой ( $D_i = 84,38$  %). К главным дискриминаторным компонентам во всех группах станций отнесены клетки гиф ( $D_i = 78,64 - 69,74$  %,  $D = 2,88 - 1,62$ ) и споры *Fungi spp.* ( $D_i = 16,04 - 13,06$  %,  $D = 0,65 - 0,54$ ).

**Выводы.** Из рассмотренных 15 абиотических параметров (глубина, температура воды  $T$  °С, соленость  $S$  ‰, рН, растворенные химические вещества  $O_2$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $P_{орг.}$ ,  $P_{вал.}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_{орг.}$ ,  $N_{мин.}$ ,  $N_{вал.}$ , органическое вещество (по перманганатной окисляемости) выделены 5 ( $P_{вал.}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_{мин.}$ ), оказывающих наибольшее влияние на структуру комплексов грибов в акваториях Григорьевского лимана и авандельты реки Дунай.

На станциях с высоким содержанием  $NO_3^-$  были зарегистрированы максимальные значения плотности пропагул ( $1674,459 \pm 1120,772$  млн. пропагул·м<sup>-3</sup>), основная масса которых представлена клетками гиф, и минимальное число видов (в среднем 2 – 3).

При низких концентрациях ионов  $NO_3^-$  и высоких валового фосфора ( $P_{вал.}$ ) выявлена минимальная плотность пропагул ( $1,385 \pm 0,812$  млн. пропагул·м<sup>-3</sup>), 12,32 % от которой составляют споровые структуры, и максимальное число видов (в среднем 6).

Выявлена прямая зависимость плотности спор грибов от концентрации  $P_{вал.}$  и обратная – от концентрации ионов  $NO_3^-$ .

На основе сходства уровней выявленных ключевых абиотических параметров выделены 3 группы станций, различающиеся по плотности пропагул грибов и видовому составу микокомплексов.

По результатам оценки степени variability развития для каждой группы станций выявлены индикаторные и дискриминаторные компонен-

ты грибных комплексов (главные из которых - клетки гиф), определяющие как особенности структуры каждого из комплексов, так и структурные отличия между ними.

Необходимо продолжить дальнейшее изучение влияния ведущих абиотических факторов на развитие микокомплексов и особенности их структурных показателей.

*Благодарности.* Выражаю благодарность к.б.н. А.В.Курилову (ОФ ИнБЮМ) за содействие в освоении пакета программ статистического многомерного анализа *PRIMER* v.5.28. Автор выражает свою признательность за высказанные критические замечания и помощь при подготовке рукописи к.б.н. А.Н.Петрову и к.б.н. Е.Л.Невровой (ИнБЮМ). За ценные указания, постоянное внимание и активную поддержку автор также искренне признателен научному руководителю д.б.н., профессору И.А.Дудке (Институт ботаники им. М.Г.Холодного, г.Киев) и академику НАН Украины Ю.П.Зайцеву (ОФ ИнБЮМ), а также д.б.н., профессору Национального Одесского Университета им. И.И.Мечникова, зав. отделом экологии краевых сообществ ОФ ИнБЮМ Л.В.Воробьевой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беккер З.Э.* Физиология и биохимия грибов - М.: Изд-во МГУ, 1988.- 229 с.
2. *Артемчук Н.Я.* Микофлора морей СССР.- М: Наука, 1981.- 190 с.
3. *Пивкан М.В., Кузнецова Т.А., Сова В.В.* Морские грибы и их метаболиты- Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2006.- 247 с.
4. *Kohlmeyer J.* Geography of marine fungi // *Aust. J. Bot. Suppl. Ser-* 1983- 10- P.67-76.
5. *Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений /* Под ред. Цыбань А.В.- Л.: Гидрометеоздат, 1980.- 192 с.
6. *Оценить* воздействие на экосистему Аджалыкского лимана и прилегающей акватории северо-западной части Черного моря специализированного терминала по перегрузке минеральной серы. Заключительный научно-технический отчет по теме. Рук. Н.И.Рясинцева, Л.В.Воробьева.- Одесса, 1993- инв. № 119- 354 с.
7. *Оценить* современное состояние ОПЗ на донные отложения и экосистемы Григорьевского лимана и прилегающей части моря (за 2000 г.). Научно-исследовательский отчет. Рук. А.К.Виноградов.- Одесса, 2001- инв. № 143- 53 с.
8. *Экологический мониторинг влияния на окружающую приходную среду судового хода Дунай - Черное море: морская часть наблюдений, в том числе гидрохимические и гидробиологические»* состояние авандельты в 2004 г. Научно-исследовательский отчет. Рук. Б.Г.Александров.-Одесса, 2004-ОК№0205U002743- 115 с.
9. *Wanvick R.M., Clarke K.R.* Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation-Natural Environment Research Council- UK, 1994- 144 p.
10. *Петров А.Н., Неврова Е.Я.* Сравнительный анализ структуры таксоценона донных диатомовых (Bacillariophyta) в районах с различным уровнем техногенного загрязнения (Черное море, Крым) // *Морской экологический журнал.*- 2004.- т.3, №3.-С.72-83.
11. *Петров А.Н., Неврова Е.Л., Малахова Л.В.* Многомерный анализ распределения бентосных диатомовых (Bacillariophyta) в поле градиентов абиотических факторов в Севастопольской бухте (Черное море, Крым) // *Морской экологический журнал.*- 2005.- т.4, № 3.- С.65-77.

Материал поступил в редакцию 25.05.2007 г.