

УДК 579.68(262.5)

doi: 10.17223/19988591/52/8

Н.И. Копытина

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей
имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Россия

Микобиота пелагиали Одесского региона северо-западной части Чёрного моря

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ
по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами
в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ
получения биологически активных веществ и технических продуктов
морского генезиса» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6).

Представлены результаты микологического исследования воды Одесского морского региона северо-западной части Чёрного моря ($30^{\circ}70'00''$ – $31^{\circ}00'00''$ N и $46^{\circ}23'00''$ – $46^{\circ}60'00''$ E). Район подвержен влиянию рек Днепра (93,4%) и Южного Буга (5,7%), постоянных антропогенных стоков городов Одесса, Черноморск (Ильичёвск), Южный, их портов, дноуглубительных работ и открытого моря. Изучен видовой состав и выявлено число колониеобразующих единиц культивируемых микроскопических грибов в 258 образцах воды, взятых летом и осенью 2008–2012 гг. На примере 140 проб рассмотрено влияние факторов окружающей среды: температуры воды, солёности, растворённого кислорода, биохимического потребления кислорода за 5 суток, нефтепродуктов, растворённых форм металлов Cu, Zn, Ni, Cd и взвешенного вещества. Идентифицировано 50 видов микромицетов из 19 родов, 14 семейств, 9 порядков, 4 классов, отдела Ascomycota, из которых наиболее представлены роды *Aspergillus* (17), *Penicillium* (8) и *Alternaria* (7). Известно, что регион характеризуется как переходная зона от мезотрофной к эвтрофной при среднем многолетнем значении $TRIX=5,3$. Установлено относительно равномерное распределение средней численности колоний грибов по горизонтам воды и акватории в течение всего периода исследования. Не выявлено статистически значимой связи числа колониеобразующих единиц микромицетов по горизонтам воды, сезонам, датам отбора проб, местоположения станций, мезотрофной и эвтрофной зонам с рассматриваемыми абиотическими параметрами. Зафиксировано 44% грибов-индикаторов различных видов загрязнения. В местах поступления ливневых стоков и выбросов очистных сооружений наибольшие значения индекса индикаторной валентности ($IndVal$) отмечены для видов *Cladosporium cladosporioides* (28,3%), *Alternaria alternata* (17,5%), *Aspergillus niger* (12,3%), в эвтрофной зоне – для *Aspergillus clavatus* (21,2%), *Penicillium expansum* (17,7%), *Penicillium citrinum* (16,1%), *Al. tenuissima* (12,5%), а в местах локального нефтяного загрязнения – для *A. fumigatus* (60%), *Al. alternata* (40%) и *A. niger* (35,7%). Установлено, что во всей акватории Одесского региона формируются

комплексы грибов, которые обладают высоким сходством видовой и численной структуры, поэтому их можно рассматривать как единое сообщество.

Ключевые слова: *Alternaria*; *Aspergillus*; *Penicillium*; таксономическое разнообразие морских грибов; грибы-индикаторы.

Введение

Происхождение многих «морских» грибов неизвестно, организмы попадают в море вместе с растительными и животными субстратами, терригенными стоками различного происхождения и заносятся ветром. E.B.G. Jones et al. [1] считают, что разделение грибов, выделенных из морских мест обитания, на облигатно и факультативно морские виды, формально и зависит от мнения специалиста. Ранее почти все микромицеты (микроскопические грибы), изолированные из морских грунтов, относили к наземным, однако их многократная изоляция из разных биотопов и в разных лабораториях мира заставила морских микологов рассматривать их как «морские». Подобная ситуация сложилась и в отношении к сапротрофным таксонам, которые выделяют из литоральных субстратов (морские травы, мангровые растения и т. д.) [2].

В монографии «Classification of marine Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota and Chytridiomycota» [2] представлен список морских грибов, включающий 1112 видов из 472 родов. Перечень микроскопических грибов содержит наземные виды, выделенные из морской среды, в том числе из родов *Aspergillus* (47) и *Penicillium* (39). В работе особо отмечены наземные грибы, выделенные из морских экосистем, геном которых подтвержден молекулярными исследованиями, 38 представителей родов *Aspergillus* и *Penicillium* имеют такое подтверждение. Современное определение термина «морской гриб» – это любой гриб, который многократно был выделен из морских сред обитания. Гриб считается морским в связи с тем, что: 1) он способен расти и / или продуцировать споры на субстратах в морской среде; 2) формирует симбиотические отношения с другими морскими организмами или 3) доказано, что он может адаптироваться и развиваться в морской среде [3].

Изучение морской микобиоты в районах влияния терригенных стоков различного происхождения в сочетании с высокой антропогенной нагрузкой представляет несомненный научный интерес.

Цель данного исследования – изучить видовой состав, количество и динамику пространственно-временного распределения культивируемых микроскопических грибов в пелагиали Одесского региона северо-западной части Чёрного моря в зависимости от абиотических факторов и трофического уровня морской воды.

Материалы и методики исследования

Одесский регион (ОР) северо-западной части Чёрного моря (координаты 30°70'00"–31°00'00"N и 46°23'00"–46°60'00"E) находится под влиянием

стока рек Днепр (93,4%), Южный Буг (5,7%) и открытой части моря, поэтому в акватории присутствуют слои воды с разной соленостью от 3 до 18,5‰. Акватория региона испытывает постоянное береговое антропогенное воздействие: хозяйственная деятельность городов Одессы, Черноморска (Ильичевск) и Южного, их портов, судоходства, дноуглубления, неочищенных ливневых и дренажных стоков. Максимальные концентрации биогенных и органических веществ отмечаются в районах расположения станций биологической очистки (СБО) «Северная» и «Южная». В сумме они поставляют в морскую среду 38% нитратов, 79% нитритов, 86% аммонийного азота, 87% фосфатов и 69% органических соединений от общего их количества, которое поступает с берега [4].

Изучение микромицетов в водной толще ОР проведено летом и осенью 2008–2012 гг. (август, октябрь 2008 г., июль, октябрь 2009 г., июнь 2010 г., июль 2011 г., сентябрь 2012 г.). Образцы воды взяты в комплексных экспедиционных рейсах Одесского филиала Института биологии южных морей НАН Украины (ОФ ИнБЮМ НАНУ, в настоящее время Институт морской биологии НАНУ) на НИС «Спрут». Станции отбора проб находились на расстоянии 0,6–14,0 км от берега. Пробы воды брали с поверхностного (1 м) и придонного горизонтов (7–24 м) пластмассовым батометром Молчанова объемом 4 л. Проанализированы результаты обработки 258 проб с 22 станций, на которых произведен отбор проб не менее 3 раз (рис. 1).

Грибы выделяли на среду Чапека, приготовленную на морской воде. В чашку Петри вносили 1 мл воды и заливали средой, охлажденной примерно до 36–40 °С. Для подавления роста бактерий в среду добавляли 0,03% левомицетина (от объема среды) [5]. Посев материала делали в 3 повторностях и культивировали в термостате при температуре 18–20 °С в течение 2–8 недель.

Грибы идентифицировали по «морфолого-культуральным признакам», используя определители грибов В.И. Билай, Э.З. Коваль и G.S. De Hoog et al. 2000 [6, 7]. Валидные названия и таксономическая принадлежность видов грибов соответствуют электронной международной базе данных Index Fungorum [8].

Экологический анализ микокомплексов (совокупность таксонов грибов, занимающих одно дискретное местообитание) проведен по следующим структурным показателям: видовому составу, количеству видов в комплексах, частоте встречаемости вида, числу колониеобразующих единиц (КОЕ/л). Значения КОЕ представлены в виде средней арифметической \pm стандартное отклонение ($M \pm SD$), медианы (Me), минимума (Min) и максимума (Max).

Обработка данных выполнена с применением программы MS Excel, пакета статистических программ StatSoft STATISTICA 10.0 и PRIMER® 5.2.8 [9, 10].

Систематическая характеристика комплексов грибов дана с использованием 2 индексов таксономического разнообразия – индекса средней таксономической отличительности (или таксономического своеобразия) Δ^+ (Average

Taxonomic Distinctness index, AvTD) и индекса вариабельности Λ^+ (Variation in Taxonomic Distinctness index, VarTD), преимущества которых перед другими индексами показаны в работах по зоо- и фитобентосу [9–12].

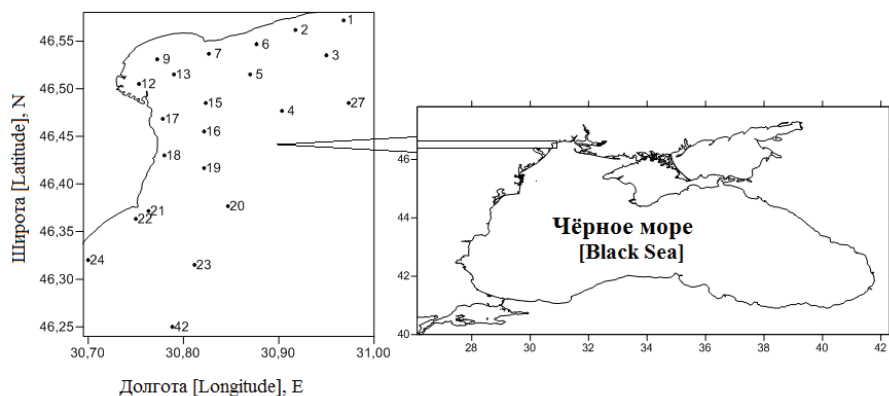


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб на полигоне Одесского региона северо-западной части Чёрного моря: станция 2 – район очистных сооружений Одесского припортового завода (ОПЗ); станция 9 – СБО «Северная»; станция 12 – вокзал Одесского морского порта, ЗАО «Одесская сахарная компания», портовый комплекс по транспортировке и перевалке на танкера нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов, Одесская теплоэлектростанция; станции 17, 18, 21 – городские ливневые выпуски; станция 22 – СБО «Южная»; станция 24 – очистные сооружения Морского торгового порта «Черноморск»

[Fig. 1. Chart map of the sampling stations at the Odessa region test site in the northwestern Black Sea
Note: Station 2 is the wastewater treatment area of Odessa Port Factory (OPF); Station 9 is the biological water treatment plant *Northern*; Station 12 is Odessa Commercial Sea Port Station; Odessa Sugar Company (private joint stock company); oil terminal of Sintez Oil (private joint stock company with foreign investments); Odessa State Heat and Power Central Plant (public joint stock company); Stations 17, 18 and 21 are urban stormwater discharge outlets; Station 22 is the biological water treatment plant *Southern*; Station 24 is the wastewater treatment facilities of Chernomorsk Commercial Sea Port]

Индексы рассчитаны по факту наличия или отсутствия таксона, учитывают систематическую связь видов в каждой пробе (вид, род, семейство и т.д.) и обеспечивают статистически устойчивое заключение о близости таксономической структуры в пределах сообщества. Если два вида принадлежат к одному роду, то нужно пройти один шаг для того, чтобы достичь общего узла в иерархическом древе. Когда виды относятся к разным родам, но одному семейству, то потребуется два шага (шаг вид–род и шаг род–семейство) и т.д. Длина шагов стандартизирована так, что различие двух видов, связанных на самом верхнем таксономическом уровне, равно 100, и значение индекса Δ^+ изменяется в пределах от 0 до 100. Индекс Δ^+ – средняя длина связей между видами в таксономическом древе отражает вертикальные связи, рассчитан по формуле

$$\Delta^+ = [\sum_{i < j} \omega_{ij}] / [S(S-1)/2], \quad (1)$$

где S – количество видов в выборке; ω_{ij} – мера таксономического различия, заданная длиной пути, который связывает виды i и j в иерархической классификации Линнея.

Индекс Δ^+ – это дисперсия парных длин связи, он также отражает горизонтальную пропорцию сообщества (с учетом числа таксонов на каждом уровне иерархического дерева). Формула для расчёта Δ^+ :

$$\Delta^+ = [\{\sum_{ij} \omega_{ij}^2\} / \{S(S-1)/2\}] - [\Delta^+]^2. \quad (2)$$

Обозначения, такие же, как в формуле (1).

Индексы рассчитаны по матрице видов микромицетов исследуемого района, которая сопоставлена со списком грибов (219 видов), известных в пелагиали всего Чёрного моря [13]. В таксономический анализ включены семь уровней: вид, род, семейство, порядок, класс, отдел, царство. Максимальные значения обоих индексов указывают на высокую выравненность структуры по рангам. Чем больше в сообществе представителей из поливидовых ветвей, тем ниже показатели иерархической выравненности таксономической структуры и меньше значения индекса Δ^+ и Δ^+ . Значение $\Delta^+ = 0$ означает, что в пробе обнаружен 1 вид. Значение $\Delta^+ = 0$ встречается в нескольких вариантах: а) обнаружен 1 вид; б) все виды относятся к одному роду; в) виды замыкаются на уровне семейства; г) все виды принадлежат к разным ветвям дерева и пересекаются на уровне порядка. Построены графики, на которых отображены значения таксономических индексов, соответствующих рассматриваемым сообществам, что позволяет наглядно оценить различие в их структуре [9, 10].

Сходство комплексов грибов оценено по коэффициенту Брэя–Кёртиса в двух вариантах: а) по видовому составу (присутствие / отсутствие вида); б) по численной структуре на основе матрицы КОЕ микромицетов и количества видов, которая трансформирована в степени 0,25. Оценка статистической значимости различий между микокомплексами рассчитана с использованием R-статистики [10].

Комплексы индикаторных видов грибов в интересующих группах определяли по значению индекса индикаторной валентности «Indicator value» (*IndVal*), который рассчитывали по формуле [14]

$$IndVal = N_{ij} / Nt \times P_{ij} / P_j \times 100\%,$$

где N_{ij} – среднее число КОЕ вида в группе; Nt – сумма значений средней численности вида в каждой из групп; P_{ij} – количество проб в пределах групп, в которых отмечен вид; P_j – общее количество проб в данной группе. Индикаторными видами группы с большим числом проб считали те, у которых значение индекса *IndVal* превышало 10,0%.

В 2008–2011 гг. взяты 140 проб воды (летом 108 проб и осенью 32), для параллельного исследования грибов и гидрохимического анализа. Учтены параметры окружающей среды: температура воды (T , °C), солёность (S , ‰), растворенный кислород (O_2), биохимическое потребление кислорода за 5 су-

ток (БПК₅), нефтепродукты (НП), растворённые формы металлов Cu, Zn, Ni, Cd и взвешенное вещество. По итогам объединения биотической (показатели численности и количества видов) и абиотической (физико-химические параметры окружающей среды) матриц сходства выполнен расчет наиболее высоких значений коэффициентов ранговой непараметрической корреляции Спирмана и Кендалла (ρ_{\max}) [10]. Данные по абиотическим параметрам воды любезно предоставлены коллегами из Института морской биологии НАНУ (Одесса, Украина) (табл. 1).

Таблица 1 [Table 1]

Значения физико-химических параметров в воде Одесского региона
[Physicochemical parameters of water in Odessa region]

| Параметр [Parameter] | $M \pm SD$ | Me | Min-Max |
|---|------------|-------|-------------|
| Температура [Temperature], T, °C | 18,57±5,39 | 19,20 | 8,60–25,80 |
| Солёность [Salinity], S, ‰ | 15,21±1,55 | 15,19 | 8,99–17,87 |
| O ₂ , mg/L | 7,64±1,14 | 7,81 | 4,23–10,45 |
| Нефтепродукты НП, мг/л [Petroleum hydrocarbons, mg/L] | 0,05±0,14 | 0,03 | 0,01–1,57 |
| Взвешенное вещество, мг/л [Suspended particulate matter, mg/L] | 7,12±10,57 | 5,50 | 1,50–116,90 |
| Биохимическое потребление кислорода за 5 суток БПК ₅ , мг/л [BOD ₅ : five-day biochemical oxygen demand, mg O ₂ /L] | 1,49±0,81 | 1,28 | 0,00–3,98 |
| *Cu, µg/L | 2,60±2,99 | 1,40 | 0,20–15,82 |
| *Zn, µg/L | 2,90±7,36 | 0,28 | 0,00–49,31 |
| *Ni, µg/L | 1,34±1,38 | 0,84 | 0,00–7,40 |
| *Cd, µg/L | 0,12±0,12 | 0,11 | 0,00–1,00 |

Примечание. * O₂, Cu, Zn, Ni, Cd, растворенные в воде.

[Note. * O₂, Cu, Zn, Ni, Cd: - dissolved in water].

Карта-схема полигона выполнена с применением программы Surfer 12.

Результаты исследования и обсуждение

Традиционной оценкой биологического разнообразия микроскопических грибов остается синэкологический анализ культивируемых видов микромицетов на основе «метода посева», когда видовая идентификация осуществляется при выделении микромицетов на питательные среды [15]. В ОР идентифицировано 50 видов микромицетов из 19 родов, 14 семейств, 9 порядков, 4 классов, отдела Ascomycota. Систематическая структура микобиоты ОР характеризуется большой сгруппированностью видов по родам и семействам: семейство Aspergillaceae включает роды *Aspergillus* (17 видов), *Penicillium* (8) и *Talaromyces* (2), в состав семейства Pleosporaceae входят роды *Alternaria* (7) и *Stemphylium* (1), также выявлены 3 вида в роде

Cladosporium, которые относятся к семейству Cladosporiaceae. Итого 76,0% видов, выявленных в ОР, принадлежат к 3 семействам (табл. 2). По одному виду отмечено в 14 родах и 9 семействах. Во всех экспедициях обнаружено 11 общих видов микромицетов. За весь исследуемый период у 17 видов зарегистрирована встречаемость более 10%, наибольшая отмечена у *Aspergillus fumigatus* (33,0%), *A. clavatus* (23,6%), *Alternaria alternata* (26,4%), *Penicillium expansum* (20,9%) (год описания и автор(ы) видов грибов указаны в табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

Таксономический состав, численность (N_{cp} , КОЕ/л) и частота встречаемости (ЧВ, %) микромицетов в Одесском морском регионе по датам экспедиций
[Taxonomic composition, number (N_m , CFU/L) and percentage of micromycete occurrence (PO, %) in Odessa sea region sorted by expedition dates]

| Дата [Date] | 08.2008 | 10.2008 | 07.2009 | 10.2009 | 06.2010 | 07.2011 | 09.2012 |
|--|---|-----------|-----------|----------|------------|------------|-----------|
| Вид [Species] | Среднее число колониеобразующих единиц (N_{cp} , КОЕ/л) / частота встречаемости (ЧВ, %) [Average number of colony forming units (N_m , CFU/L) / percentage of occurrence (PO, %)] | | | | | | |
| Sordariomycetes – Hypocreales – Bionectriaceae | | | | | | | |
| <i>Lasionectriopsis spinosa</i> (Negroni) Lechat & P.-A. Moreau 2019 | 68/2,3 | 535/6,5 | 333/6,5 | 1220/4,5 | 706/6,3 | 0/0 | 3294/26,5 |
| Sordariomycetes – Hypocreales – Incertae sedis | | | | | | | |
| <i>Sarocladium kiliense</i> (Grütz) Summerb. 2011 | 0/0 | 0/0 | 350/6,5 | 645/11,4 | 102/3,1 | 13951/45,2 | 3132/23,5 |
| Sordariomycetes – Hypocreales – Stachybotryaceae | | | | | | | |
| <i>Stachybotrys chartarum</i> (Ehrenb.) S. Hughes 1958 | 113/2,3 | 0/0 | 8113/12,9 | 8113/9,1 | 1907/9,4 | 2890/16,7 | 780/14,7 |
| Sordariomycetes – Hypocreales – Nectriaceae | | | | | | | |
| <i>Fusarium</i> sp. | 477/11,4 | 2767/14,3 | 0/0 | 0/0 | 22621/12,5 | 0/0 | 1058/14,7 |
| Sordariomycetes – Cephalothecales – Cephalothecaceae | | | | | | | |
| <i>Phialemonium atrogriseum</i> (Panas.) Dania García, Perdomo, Gené, Cano and Guarro 2013 | 0/0 | 0/0 | 766/12,9 | 85/4,5 | 31/3,1 | 16529/45,2 | 294/5,9 |
| Sordariomycetes – Sordariales – Chaetomiaceae | | | | | | | |
| <i>Chaetomium</i> sp. | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 63/3,3 | 0/0 | 1897/14,7 |
| Sordariomycetes – Microascales – Halosphaeriaceae | | | | | | | |
| <i>≈Halosphaeriopsis mediosetigera</i> (Cribb and J.W. Cribb) T.W. Johnson 1958 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 382/8,8 |

Продолжение табл. 2 [Table 2 (cont.)]

| Дата [Date] | 08.2008 | 10.2008 | 07.2009 | 10.2009 | 06.2010 | 07.2011 | 09.2012 |
|---|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вид [Species] | Среднее число колониеобразующих единиц (N_{cp} , КОЕ/л) / частота встречаемости (ЧВ, %) [Average number of colony forming units (N_m , CFU/L) / percentage of occurrence (PO, %)] | | | | | | |
| Sordariomycetes – Microascales – Microascaceae | | | | | | | |
| <i>Microascus</i> sp. | 23/2,3 | 0/0 | 33/3,2 | 20/2,3 | 20/3,1 | 0/0 | 1617/8,6 |
| <i>Pseudallescheria boydii</i> Shear) McGinnis, A.A. Padhye and Ajello 1982 | 306/4,5 | 0/0 | 0/0 | 1250/2,3 | 468/3,1 | 0/0 | 0/0 |
| Dothideomycetes – Pleosporales – Pleosporaceae | | | | | | | |
| * <i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl. 1912 | 3056/25,0 | 3964/25,8 | 7583/29,0 | 1571/18,2 | 3289/25,0 | 8536/28,6 | 4029/35,3 |
| <i>Al. chlamydospora</i> Mouch. 1973 | 23/2,3 | 0/0 | 666/3,2 | 105/4,5 | 156/9,4 | 0/0 | 970/11,8 |
| <i>Al. cichorii</i> Nattress 1937 | 0/0 | 0/0 | 673/3,2 | 135/4,5 | 580/3,1 | 6573/23,8 | 3117/31,4 |
| <i>Al. dianthicola</i> Neerg. 1945 | 352/4,5 | 0/0 | 983/9,7 | 126/9,1 | 403/3,1 | 256/4,8 | 4573/28,6 |
| <i>Al. longipes</i> (Ellis and Everh.) E.W. Mason 1928 | 0/0 | 107/3,6 | 67/6,5 | 145/6,8 | 440/6,3 | 0/0 | 2352/20,0 |
| <i>Al. porri</i> (Ellis) Cif. 1930 | 45/2,3 | 0/0 | 2016/6,5 | 63/2,3 | 0/0 | 2622/16,7 | 2382/14,3 |
| <i>Al. tenuis-sima</i> (Kunze) Wiltshire 1933 | 363/2,3 | 13518/35,5 | 0/0 | 4200/11,4 | 1415/9,4 | 7012/31,0 | 4308/22,9 |
| <i>Stemphylium</i> sp. | 23/2,3 | 0/0 | 0/0 | 63/6,8 | 0/0 | 25/2,4 | 3147/25,7 |
| Dothideomycetes – Capnodiales – Cladosporiaceae | | | | | | | |
| * <i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries 1952 | 113/2,3 | 0/0 | 2733/9,7 | 4106/13,6 | 2783/12,5 | 641/28,6 | 2132/17,1 |
| <i>C. herbarum</i> (Pers.) Link 1816 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 146/4,5 | 0/0 | 0/0 | 2647/28,6 |
| <i>C. macrocarpum</i> Preuss 1848 | 0/0 | 0/0 | 34/3,2 | 240/11,4 | 67/3,1 | 621/14,3 | 4544/60,0 |
| Dothideomycetes – Dothideales – Saccotheciaceae | | | | | | | |
| <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary and Löwenthal) G. Arnaud 1918 | 670/13,6 | 232/3,2 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Eurotiomycetes – Eurotiales – Aspergillaceae | | | | | | | |
| <i>Aspergillus alliaceus</i> Thom and Church 1945 | 761/15,9 | 107/3,2 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 1975/9,5 | 0/0 |
| <i>A. caesiellus</i> Saito 1904 | 0/0 | 0/0 | 6500/6,5 | 0/0 | 313/3,1 | 0/0 | 0/0 |

Продолжение табл. 2 [Table 2 (cont.)]

| Дата [Date] | 08.2008 | 10.2008 | 07.2009 | 10.2009 | 06.2010 | 07.2011 | 09.2012 |
|--|--|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| Вид [Species] | Среднее число колониеобразующих единиц (N_{cp} , КОЕ/л) / частота встречаемости (ЧВ, %) [Average number of colony forming units (N_m , CFU/L) / percentage of occurrence (PO, %)] | | | | | | |
| <i>*A. candidus</i> Link 1809 | 261/4,5 | 0/0 | 0/0 | 5866/ 20,5 | 1906/ 9,4 | 0/0 | 0/0 |
| <i>*A. carneus</i> Blochwitz 1933 | 625/ 9,1 | 0/0 | 3500/ 3,2 | 116/ 4,5 | 2768/ 3,1 | 3951/ 16,7 | 2632/ 17,6 |
| <i>A. clavatonanicus</i> Bat., H. Maia and Alecrim 1955 | 886/ 6,8 | 5285/ 16,1 | 2100/ 6,5 | 258/ 6,8 | 6299/ 9,4 | 3769/ 16,7 | 5544/ 20,6 |
| <i>A. clavatus</i> Desm. 1834 | 1181/ 13,6 | 14464/ 54,8 | 18667/ 41,9 | 1375/ 13,6 | 7720/ 21,9 | 4256/ 24,2 | 2176/ 11,8 |
| <i>A. conicus</i> Blochwitz 1914 | 954/ 4,5 | 0/0 | 1166/ 3,2 | 458/ 4,5 | 935/ 6,3 | 1914/ 14,3 | 1132/ 8,8 |
| <i>A. deflectus</i> Fennell and Raper 1955 | 23/ 2,3 | 71/ 3,2 | 0/0 | 3670/ 11,4 | 5131/ 6,3 | 1817/ 14,3 | 3323/ 17,6 |
| <i>A. flavipes</i> (Bainier and R. Sartory) Thom and Church 1926 | 1363/ 6,8 | 1392/ 12,9 | 66/ 6,5 | 0/0 | 6496/ 21,9 | 2500/ 14,3 | 3161/ 23,5 |
| <i>*A. flavus</i> Link 1809 | 318/ 6,8 | 1446/ 19,4 | 1216/ 9,7 | 2445/ 13,6 | 934/ 12,5 | 1207/ 12,1 | 4823/ 23,5 |
| <i>*A. fumigatus</i> Fresen. 1863 | 1818/ 29,5 | 8857/ 22,6 | 18067/ 41,9 | 11560/ 50,0 | 7519/ 34,4 | 10244/ 26,2 | 6147/ 23,5 |
| <i>A. granulosus</i> Raper and Thom 1944 | 2920/ 18,2 | 8178/ 22,6 | 0/0 | 0/0 | 660/ 3,1 | 390/ 11,9 | 0/0 |
| <i>*A. niger</i> Tiegh. 1867 | 1034/ 4,5 | 35/ 3,2 | 2506/ 22,6 | 1583/ 13,6 | 2763/ 18,8 | 1452/ 4,8 | 5632/ 44,1 |
| <i>*A. ochraceus</i> G. Wilh. 1877 | 454/ 6,8 | 1696/ 9,7 | 2506/ 22,6 | 1606/ 4,5 | 1433/ 18,8 | 353/ 4,8 | 7352/ 42,9 |
| <i>*A. versicolor</i> (Vuill.) Tirab. 1908 | 181/ 6,8 | 3571/ 6,5 | 383/ 3,2 | 85/ 4,5 | 450/ 9,4 | 0/0 | 0/0 |
| <i>*A. unguis</i> (Émile-Weill and L. Gaudin) Thom and Raper 1934 | 0/0 | 105/ 3,2 | 266/ 3,2 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| <i>*A. ustus</i> (Bainier) Thom and Church 1926 | 1363/ 20,5 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 4788/ 25,0 | 1487/ 11,9 | 0/0 |
| <i>Penicillium</i> <i>aurantiogriseum</i> Dierckx 1901 | 68/ 6,8 | 0/0 | 1216/ 9,7 | 200/ 6,8 | 31/ 3,1 | 390/ 7,1 | 3657/ 26,5 |
| <i>*P. brevicompac-</i> <i>tum</i> Dierckx 1901 | 45/ 2,3 | 71/ 3,2 | 100/ 3,2 | 165/ 9,1 | 134/ 3,1 | 195/ 4,8 | 676/ 11,4 |
| <i>*P. citrinum</i> Thom 1910 | 181/ 6,8 | 4958/ 42,9 | 1166/ 19,4 | 85/ 2,3 | 835/ 12,5 | 3195/ 16,7 | 779/ 14,6 |
| <i>*P. commune</i> Thom 1910 | 1022/ 13,6 | 4053/ 19,4 | 167/ 19,4 | 2370/ 15,9 | 1020/ 21,9 | 5085/ 23,8 | 2441/ 26,5 |
| <i>*P. decumbens</i> Thom 1910 | 181/ 6,8 | 178/ 3,6 | 300/ 6,5 | 1216/ 18,2 | 125/ 6,3 | 2207/ 16,7 | 1029/ 2,9 |

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

| Дата [Date] | 08.2008 | 10.2008 | 07.2009 | 10.2009 | 06.2010 | 07.2011 | 09.2012 |
|--|---|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Вид [Species] | Среднее число колониеобразующих единиц (N_{cp} , КОЕ/л) / частота встречаемости (ЧВ, %) [Average number of colony forming units (N_m , CFU/L) / percentage of occurrence (PO, %)] | | | | | | |
| <i>P. expansum</i> Link 1809 | 1058/1,4 | 10960/42,9 | 6900/16,1 | 3352/25,0 | 4734/15,6 | 2634/11,9 | 2014/26,5 |
| * <i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom 1930 | 1522/20,5 | 1584/9,7 | 133/3,2 | 1152/11,4 | 1020/9,4 | 1280/21,4 | 926/17,6 |
| <i>Penicillium</i> sp. | 1113/6,8 | 1250/6,5 | 300/3,2 | 105/6,8 | 0/0 | 158/4,8 | 117/5,9 |
| <i>Talaromyces verruculosus</i> (Peyronel) Samson, N. Yilmaz, Frisvad and Seifert 2011 | 80/4,5 | 0/0 | 0/0 | 42/2,3 | 468/3,1 | 0/0 | 0/0 |
| Eurotiomycetes – Onygenales – Onygenaceae | | | | | | | |
| <i>Chrysosporium inops</i> J.W. Carmich. 1962 | 23/2,3 | 767/9,7 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Eurotiomycetes – Onygenales – Ajellomycetaceae | | | | | | | |
| <i>Emergomyces pasteurianus</i> (Drouhet, E. Guého & Gori) Dukik, Sigler and de Hoog 2017 | 0/0 | 1928/3,2 | 1833/9,7 | 770/9,1 | 1552/18,8 | 768/9,5 | 2126/38,2 |
| Saccharomycetes – Saccharomycetales – Incertae sedis | | | | | | | |
| <i>Candida dubliniensis</i> D.J. Sullivan, Western., K.A. Haynes, Dés.E. Benn. and D.C. Coleman 1995 | 909/11,4 | 0/0 | 1500/3,2 | 21/2,3 | 6478/28,1 | 0/0 | 0/0 |

Примечание. * – наземные виды микромицетов с доказанной способностью функционировать в морской среде (по Jones et al., 2015); \approx *Halosphaeriopsis mediosetigera*, облигатно морской микромицет.

[Note. * Terrestrial micromycete species with the proven ability to function in the marine environment (Jones et al. 2015); \approx *Halosphaeriopsis mediosetigera*, obligate marine micromycete].

Частота встречаемости по горизонтам воды различалась у следующих видов: *Aspergillus ochraceus* (поверхностный слой – 10,1%, придонный – 19,4%) и *P. expansum* (16,3 и 25,6%) ($p < 0,05$). Только летом обнаружены *Aspergillus caesiellus* (2,0%) и *A. ustus* (15,0%), преобладали: *Penicillium atrogriseum* (15,7%, осень – 3,6%), *Candida dubliniensis* (10,2 и 1,0%), *Aspergillus alliaceus* (7,8 и 0,9%). Только осенью отмечен вид *Cladosporium herbarum* (10,8%), доминировали: *P. expansum* (31,5%, лето – 12,9%), *Cladosporium macrocarpum* (24,3 и 13,6%), *Aspergillus flavus* (18,9 и 9,5%), *Al. dianthicola* (12,6 и 5,4%), *Lasionectriopsis spinosa* (11,7 и 3,4%), *Chaetomium* sp. (4,5 и 0,7%), *Stemphium* sp. (10,8 и 1,3%) ($p \leq 0,05$).

На графиках таксономических индексов символы, соответствующие микокомплексам, размещены относительно границ 95% вероятностной воронки, пунктирная линия в её центре – средние значения индексов, рассчитанных для списка видов грибов пелагиали всего Чёрного моря. Для микобиоты ОР среднее ожидаемое значение индекса $\Delta^+ = 55,5$ (рис. 2, *A*), что значительно меньше, чем для моря в целом, поэтому символ расположен под нижней границей воронки. Низкое значение индекса обусловлено отсутствием представителей отделов Zygomycota, Basidiomycota, Oomycota, Bigyra в видовом составе грибов ОР [13], а также большой долей поливидовых ветвей в иерархическом древе, что понижает вертикальную выравненность структуры сообщества. Для микобиоты ОР символ индекса $\Lambda^+ = 524,8$ (рис. 2, *B*) находится над верхней границей доверительной воронки. Доминирование поливидовых ветвей в составе сообщества способствует росту общей вариабельности таксономической структуры (зеркальное отображение значения индекса Δ^+).

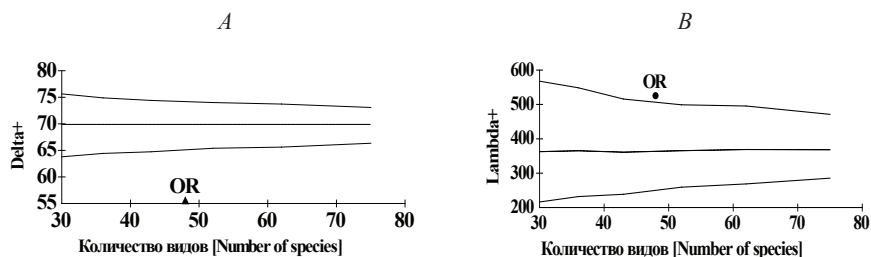


Рис. 2. Значения индексов таксономической отличительности Δ^+ (A) и его вариабельности Λ^+ (B) для микобиоты Одесского региона в целом

[Fig. 2. Average taxonomical distinctness Δ^+ (A) and its variability Λ^+ (B) for the mycobiota of Odessa region as a whole]

Для всех микокомплексов станций ОР значения индекса Δ^+ также намного ниже среднего ожидаемого (рис. 3, *A*), поэтому на графике символы значений индексов расположены под нижней границей вероятностной воронки. Наименьшие значения индексов отмечены для микокомплексов на станциях 23, 27, 15 (43,7–47,5), в видовых композициях которых преобладали представители семейства Aspergillaceae (от 66,7 до 72,2%), а несколько других более высоких таксономических рангов представлены одним или немногими видами.

Для всех микокомплексов станций ОР значения индекса Λ^+ превышают среднее, и их символы находятся над пунктирной линией, а некоторые из них и над верхней границей воронки (рис. 3, *B*). Наибольшие значения индекса Λ^+ отмечены для комплексов на станциях 23, 27 и 15 (616,9–660,5).

Минимальное количество видов обнаружено на ст. 1 и 42 (по 15), но и в этом случае 80,0% видового состава грибов принадлежали к поливидовым ро-

дам. Следовательно, в микокомплексах всех станций сохранялось доминирование представителей поливидовых родов независимо от количества видов.

Анализ таксономического разнообразия показывает, что структура микобиоты пелагиали ОР значительно проще, чем моря, это выражено в небольшом количестве видов и доминировании политаксонных ветвей в составе комплексов. Как правило, такая структура сообществ формируется в условиях постоянного воздействия неблагоприятных факторов среды, включая загрязнение [10].

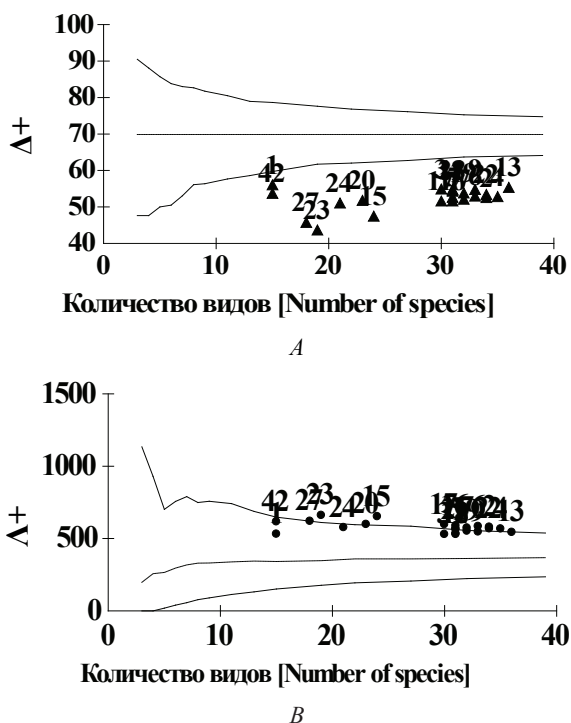


Рис. 3. Значения индексов $\Delta+$ (А) и $\Delta+$ (В) для микокомплексов на каждой из исследованных станций Одесского региона

[Fig. 3. Average taxonomical distinctness $\Delta+$ (A) and its variability $\Delta+$ (B) for the fungal complexes from each station of the marine area of Odessa region]

Сходство видовой структуры комплексов соответствовало: между горизонтами воды – 98,0%; между сезонами – 95,8%; по датам отбора проб – от 63,6 (10.2008 г. ↔ 10.2009 г.) до 88,0% (10.2009 г. ↔ 06.2012 г.). Сходство численной структуры микокомплексов составляло: между горизонтами 82,9%; между сезонами – 75,8%; по датам отбора проб – от 43,5 (08.2008 г. ↔ 09.2012 г.) до 65,7% (07.2009 г. ↔ 06.2010 г.).

Единственный случай различия структуры, близкий к статистически значимому, выявлен между комплексами 10.2008 г. и 09.2012 г. ($R = 0,487$,

уровень значимости 0,1%). Осенью 2008 г.: число видов – 27, среднее число колоний – 90761 ± 55368 , медиана – 92500 КОЕ/л. Осенью 2012 г.: число видов – 38, среднее число колоний – 102357 ± 78251 , медиана – 94000 КОЕ/л. В составе комплексов выявлено 17 общих видов, число КОЕ некоторых из них различалась в 6 раз. Сходство видового состава комплексов – 59,0%, численной структуры – 37,9%. Также в этот период (10.2008 г. и 09.2012 г.) отмечены статистически значимые различия структуры микокомплексов придонного горизонта воды ($R = 0,523$). В 2008 г.: число видов – 19, среднее число КОЕ – 95918 ± 53671 , медиана – 93025 КОЕ/л. В 2012 г.: число видов – 38, среднее число КОЕ – 97370 ± 37019 , медиана – 94500 КОЕ/л. В видовом составе присутствовали 17 общих видов, число колоний некоторых из них отличалось в 28 раз. Сходство видового состава микокомплексов – 56,0%, численной структуры – 37,7%.

В Одесском регионе снижение концентраций загрязняющих веществ наблюдают с 2004 г. В 2005–2010 гг. средние значения ионов металлов были в пределах ПДК для морских водоемов, согласно нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [16, 17]. Превышение ПДК по нефтепродуктам отмечали только на станциях, расположенных вблизи источников загрязнения [18].

В течение периода исследования статистически значимо изменялись параметры таких абиотических факторов, как Т, S‰, O₂, БПК₅ и концентрация нефтепродуктов ($p \leq 0,005$). По данным биотической и абиотической матриц сходства вычислены коэффициенты ранговой корреляции Спирмана и Кендалла. Выявлено отсутствие статистической значимой связи между рассматриваемыми абиотическими параметрами и числом КОЕ микромицетов в различных вариантах: горизонтом воды, сезоном, датой отбора проб, местоположением станции. Ранее установлено, что на развитие микромицетов оказывают воздействие концентрации общего азота, нитратного азота (угнетает рост численности), а также общего фосфора (способствует росту численности) [15]. Мы не располагаем исходными данными по содержанию биогенных веществ в воде ОР, поэтому анализ структуры микокомплексов сделан по величине индекса трофического статуса (TRIX) на основании работ коллег, по той же схеме станций [16, 19]. Индекс TRIX вычислен по значениям хлорофилла, отклонению от 100% насыщения воды кислородом, общему фосфору и сумме минеральных форм азота. За период исследования 1992–2010 гг. статистически значимых межгодовых и межсезонных изменений трофического статуса Одесского региона не зафиксировано. Регион характеризуется как переходная зона от мезотрофной (МЗ) к эвтрофной (ЭЗ) при среднем многолетнем значении TRIX=5,3 (значения индекса 4–5 – средний трофический уровень; 5–6 – высокий уровень, низкое качество воды) [16, 19]. По критерию кризисности экосистемы водоемов такой уровень трофности означает переход от пороговых изменений к необратимым [20].

Микологические данные сгруппировали согласно трофическому статусу слоя воды и номерам станций, выполненных по той же схеме. Исследовано 155 проб, взятых на станциях мезотрофной зоны, и 103 пробы эвтрофной. В поверхностном горизонте воды ст. 13 и 17 расположены в эвтрофной зоне, остальная акватория соответствует мезотрофному статусу. В придонном горизонте в ЭЗ расположены станции 3, 4, 5, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 27. Летом в МЗ исследовано 89 проб, осенью – 64. В ЭЗ летом – 57 проб, осенью – 48. В структуре микокомплексов воды отличной трофности не выявлены статистически значимые различия по однофакторному анализу (горизонт, сезон, дата отбора проб, местоположение станции) и по двухфакторному анализу при разных сочетаниях показателей, перечисленных выше. В МЗ и ЭЗ также не выявлены виды грибов, частота встречаемости которых статистически значимо различалась ($p>0,1$). Сходство видовой структуры комплексов между зонами трофности – 99,0%; численной структуры – 86,0%.

В течение всего периода исследования численная и видовая структура микокомплексов оставалась относительно стабильной по районам с различными трофическими статусами, датам экспедиций, сезонам, горизонтам воды (табл. 3).

Таблица 3 [Table 3]

Характеристика структуры микокомплексов в пелагиали Одесского региона
[Characteristics of the structure of mycocomplexes in the water area of Odessa region]

| Факторы [Factors] | Микоком- плексы [Mycocom- plexes] | Число проб воды [Number of water samples] | Коли- чество видов грибов [Number of fungal species] | $M \pm SD$ (Min – Max), CFU/L | Me числен- ности, КОЕ/л [Me number, CFU/L] |
|--------------------------------------|--|--|--|----------------------------------|--|
| Мезотрофная зона [Mesotrophic] | Общий [General] | 155 | 49 | 68613±67915 (2500–498000) | 45510 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 116 | 48 | 77149±74212 (2500–498000) | 53860 |
| | Придонный [Bottom] | 39 | 46 | 46301±46068 (6000–197000) | 27440 |
| Эвтрофная зона [Eutrophic] | Общий [General] | 103 | 50 | 93309±70203 (5500–345000) | 78600 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 13 | 31 | 130592±83064 (33000–284000) | 108500 |
| | Придонный [Bottom] | 90 | 50 | 86590±64666 (5500–345000) | 76750 |
| 08.2008 | Общий [General] | 44 | 39 | 25988±18405 (2500–77000) | 21250 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 22 | 29 | 25295±17508 (2500–77000) | 22250 |
| | Придонный [Bottom] | 22 | 29 | 26681±19648 (5500–62500) | 17750 |

Продолжение табл. 3 [Table 3 (cont.)]

| Факторы [Factors] | Микоком- плексы [Mycocom- plexes] | Число проб воды [Number of water samples] | Коли- чество видов грибов [Number of fungal species] | $M \pm SD$ (Min – Max), CFU/L | Ме числен- ности, КОЕ/л [Me number, CFU/L] |
|----------------------|--|--|--|----------------------------------|--|
| 10.2008 | Общий [General] | 31 | 27 | 90761±55368 (9000–197500) | 92500 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 16 | 26 | 85948±58353 (9000–174500) | 65500 |
| | Придонный [Bottom] | 15 | 19 | 95917±53671 (19500–197500) | 93025 |
| 07.2009 | Общий [General] | 31 | 35 | 89546±64654 (8000–284000) | 79750 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 15 | 28 | 91026±73844 (19300–284000) | 57500 |
| | Придонный [Bottom] | 16 | 26 | 88066±56579 (8000–209000) | 80500 |
| 10.2009 | Общий [General] | 44 | 39 | 60740±57792 (2710–281000) | 55300 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 22 | 31 | 71967±69670 (2710–281000) | 61130 |
| | Придонный [Bottom] | 22 | 32 | 50411±43120 (6570–151100) | 31000 |
| 06.2010 | Общий [General] | 32 | 41 | 81406±62162 (11730–250600) | 69095 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 16 | 32 | 103282±67135 (22280–250600) | 84580 |
| | Придонный [Bottom] | 16 | 32 | 59530±49575 (11730–215800) | 47795 |
| 07.2011 | Общий [General] | 42 | 33 | 116664±90346 (16000–345000) | 100000 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 22 | 31 | 109678±88506 (17500–260000) | 66000 |
| | Придонный [Bottom] | 22 | 30 | 124000±93956 (16000–345000) | 108000 |
| 09.2012 | Общий [General] | 34 | 38 | 102357±78251 (27000–498000) | 94250 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 17 | 33 | 107344±25674 (27000–498000) | 94000 |
| | Придонный [Bottom] | 17 | 38 | 97370±37019 (37500–184500) | 94500 |
| Лето [Summer] | Общий [General] | 147 | 49 | 76313±72449 (2500–345000) | 47000 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 74 | 45 | 79427±8625 (2500–284000) | 45355 |
| | Придонный [Bottom] | 73 | 47 | 73157±8310 (5500–345000) | 49500 |
| Осень [Autumn] | Общий [General] | 111 | 47 | 81331±66253 (2710–498000) | 72000 |
| | Поверхност- ный [Surface] | 55 | 45 | 86715±80046 (2710–498000) | 70830 |

Окончание табл. 3 [Table 3 (end)]

| Факторы [Factors] | Микоком- плексы [Mycocom- plexes] | Число проб воды [Number of water samples] | Коли- чество видов грибов [Number of fungal species] | $M \pm SD$ (Min – Max), CFU/L | Me числен- ности, КОЕ/л [Me number, CFU/L] |
|----------------------------|--|--|--|----------------------------------|--|
| | Придонный [Bottom] | 56 | 44 | 76043±49301 (6570–197500) | 73715 |
| Поверхностный [Surface] | Общий [General] | 129 | 48 | 82534±76523 (4000–498000) | 57220 |
| Придонный [Bottom] | Общий [General] | 129 | 50 | 74410±62311 (5500–345000) | 61500 |

Для понимания закономерности распределения видов грибов в зависимости от трофического статуса среды для 9 видов с наибольшей частотой встречаемости вычислили индексы индикаторной валентности (*IndVal*). В мезотрофной зоне наибольшие значения индекса получены для *A. fumigatus* (15,7%) и *Al. alternata* (12,8%), в эвтрофной зоне – для *A. clavatus* (21,2%), *P. expansum* (17,7%), *A. fumigatus* (16,5%), *P. citrinum* (16,1%), *Al. alternata* (14,0%), *Al. tenuissima* (12,5%). Частота встречаемости и число колоний *Al. alternata* и *A. fumigatus* одинаково высоки в МЗ и ЭЗ. К видам-индикаторам эвтрофного статуса морской воды можно отнести *A. clavatus*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *Al. tenuissima*.

В условиях техногенной нагрузки доминируют комплексы грибов, устойчивые сразу к нескольким антропогенным факторам. Темноокрашенные гифомицеты (меланинсодержащие) характеризуются широким ареалом распространения, высоким уровнем спорообразования и резистентностью к ряду экстремальных воздействий: повышенной температуре, увеличенной концентрации тяжёлых металлов, городским местам обитания, коммунально-промышленным стокам. Пигменты меланины за счет способности к детоксикации ядовитых соединений способствуют повышению выживаемости организмов в экстремальных условиях [15, 21]. В Одесском регионе выявлено 13 (26,0%) меланинсодержащих индикаторов, 7 из них – представители рода *Alternaria*.

Наибольшее количество меланиновых грибов обнаружено на ст. 3, 4, 5, 6, 9, 12, 13, 16, 18, 19, 21, 22 (10–12 видов), которые расположены в районах ливневых стоков, очистных сооружений или непосредственной близости к ним. Наибольшие значения индекса валентности получены для *C. cladosporioides* (28,3%), *Al. alternata* (17,5%), *A. niger* (12,3%).

В поверхностном слое воды увеличение числа КОЕ меланинсодержащих грибов отмечено в октябре 2009 г. – 33,8% и в сентябре 2012 г. – 43,1%, от общего по акватории. Осенью 2009 г. на 6 станциях обнаружены *Al. alternata*, *Al. tenuissima*, *C. cladosporioides*, *S. chartarum*, доля КОЕ изменялась от 1,6 до 100%. Наибольшая заспоренность выявлена на ст. 2 (очистные сооруже-

ния Одесского припортового завода) и 18 (ливневый выпуск), соответственно 86,3–100,0%. Одновременно на этих станциях отмечены наибольшие за все время исследования концентрации растворённого Zn – 49,3 и 40,1 мкг/л.

В 2012 г. также выявлены виды *Al. chlamidospora*, *Al. cichorii*, *Al. dianthicola*, *Al. longipes*, *Al. porri*, *A. niger*, *C. herbarum*, *Stemphiliium* sp. Меланинсодержащие грибы зарегистрированы на всех станциях в пределах 9,4–91,9%. На ст. 21 и 18 (ливневые выпуски) доля КОЕ тёмноокрашенных микромицетов менялась от 81,3 до 91,9%. На перечисленных станциях в составе комплексов присутствовали 2–4 индикатора, общий – *Al. tenuissima*. В придонном горизонте воды наибольшую концентрацию меланинсодержащих грибов наблюдали в октябре 2009 г. и в сентябре 2012 г. – по 36,0%. Осенью 2009 г. на 11 станциях выявили индикаторные виды, доля КОЕ которых составляла от 2,5 до 100,0%. Высокой заспоренностью (85,1–100,0%) отличались ст. 9, 22 (станции СБО) и 17 (ливневый выпуск). На этих точках обнаружено по одному виду: на ст. 9 – *S. chartarum*, на ст. 17 – *A. niger*, на ст. 22 – *C. cladosporioides*. В 2009 г. концентрация загрязняющих веществ не превышала ПДК. Осенью 2012 г. темноокрашенные микромицеты обнаружены на всех станциях ОР, наибольшая доля КОЕ зафиксирована на ст. 20 (53,3%) и 22 (71,2%, СБО «Южная»). Высокие значения индекса индикаторной валентности вычислены для *C. cladosporioides* (33,1%), *A. niger* (27,4%) и *Al. alternata* (25,3%). Выявлено, что значения индексов, полученных по станциям и датам экспедиций, имеют предельные значения для одних и тех же видов.

Согласно литературным данным, индикаторами нефтяного загрязнения являются: *Al. alternata*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger*, *A. versicolor*, *P. aurantiogriseum*, *P. citrinum*, *P. decumbens*, *P. simplicissimum* (18,0% видового состава ОР) [22–25]. На ст. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 13, 16, 17, 18, 19, 22 выявили от 7 до 9 видов-индикаторов нефтяного загрязнения. На этих станциях наибольшие значения индексов *IndVal* получены для *Al. alternata* (14,95%) и *A. fumigatus* (23,2%).

Максимальная суммарная доля КОЕ грибов-индикаторов (70,0%), ука-зывающая на нефтяное загрязнение акватории, зарегистрирована в июле 2009 г. В этот период средняя концентрация нефтепродуктов по акватории составляла 0,14 мг/л (поверхностный горизонт – 0,15 мг/л, придонный – 0,12 мг/л). Однако в поверхностном слое воды на ст. 9 (СБО «Северная»), содержание нефтепродуктов отвечало 245 предельно допустимым концентрациям (ПДК, 12,25 мг/л), а на ст. 12 (Одесский порт) – 31 (1,57 мг/л) [18]. Доля КОЕ грибов-индикаторов на ст. 12 и 9, соответствовала 75,0 и 100,0%, по частоте встречаемости доминировал *A. niger*. В придонном слое на ст. 6, 12, 18, 17 зафиксирована 87,4–100,0% КОЕ индикаторов, доминировал *A. fumigatus*. В местах нефтяного загрязнения высокими значениями индексов индикаторной валентности отличались виды *A. fumigatus* (60,0%), *Al. alternata* (40,0%), *A. niger* (35,7%).

В целом по региону выявлено 44% грибов-индикаторов различных видов загрязнения.

Известно, что в антропогенно измененных условиях среды повышается число КОЕ и количество видов микроскопических грибов, обладающих способностью к токсинообразованию, так как микотоксины способствуют выживанию отдельных видов грибов при неблагоприятных условиях в конкуренции с другими видами микроорганизмов [26]. Например, увеличивается число видов рода *Aspergillus* [22, 26]. Данная закономерность характерна и для ОР. Так, род *Aspergillus* представлен 17 видами, а *A. flavus* и *A. fumigatus* относятся к III группе патогенных микроорганизмов (возбудители аспергиллеза). Токсины также вырабатывают представители родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Stachybotrys*.

Во время исследования в большей степени изменялись параметры воды: Т, S‰, O₂, БПК₅ и концентрация нефтепродуктов. Концентрации растворимых форм металлов не превышали ПДК. Тем не менее неизменно высокие значения индекса TRIХ свидетельствуют о загрязнении акватории соединениями фосфора и минеральными формами азота, постоянными источниками которых являются речные, ливневые и дренажные стоки, а также выпуски станций биологической очистки вод.

Установлено, что во всей акватории Одесского региона формируются комплексы грибов, которые обладают высоким сходством видовой и численной структуры, поэтому их можно рассматривать как единое сообщество.

Выводы

1. В ходе проведенных исследований идентифицировано 50 видов микромицетов из 19 родов, 12 семейств, 9 порядков, 4 классов, отдела Ascomycota. Преобладали роды *Aspergillus* (17), *Penicillium* (8) и *Alternaria* (7). Структура микобиоты пелагиали ОР значительно проще, чем моря, что выражается в небольшом видовом разнообразии и доминировании поливидовых ветвей в составе комплексов. Видовая и численная структура микокомплексов ОР оставалась относительно стабильной на протяжении всего периода исследования.

2. В изучаемый период не выявлено статистически значимой связи между рассматриваемыми абиотическими параметрами и числом КОЕ микромицетов по горизонтам воды, сезонам, датам отбора проб, местоположению станций и в водах эвтрофного и мезотрофного статуса.

3. Постоянные высокие значения индекса TRIХ свидетельствуют о загрязнении акватории соединениями фосфора и минеральными формами азота, источниками которых являются речные, ливневые и дренажные стоки, а также выпуски станций биологической очистки вод. Особенности структуры микобиоты пелагиали ОР (небольшое количество видов, большая сгруппированность видов по родам) подтверждают наличие неблагоприятных условий среды.

4. В регионе зафиксировано 44% грибов-индикаторов различных видов загрязнения. В районах поступления антропогенных стоков индекс индикаторной валентности (*IndVal*) имел наибольшие значения для меланин-содержащих грибов *Cladosporium cladosporioides*, *Al. alternata*, *A. niger*, устойчивых к нескольким неблагоприятным факторам. В эвтрофной зоне большие значения индексов получены для *A. clavatus*, *P. expansum*, *P. citrinum*, *Al. tenuissima*, а в местах локального нефтяного загрязнения – для *A. fumigatus*, *Al. alternata* и *A. niger*.

5. В условиях постоянного поступления природных и антропогенных береговых стоков в акваторию ОР, происходит формирование комплексов грибов, которые обладают высоким сходством видовой и численной структуры, поэтому их можно рассматривать как единое сообщество.

Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам Института морской биологии Национальной академии наук Украины, г. Одесса: д-ру биол. наук, профессору, академику НАНУ [Ю. П. Зайцеву], д-ру биол. наук, профессору, член-корреспонденту НАНУ [Б. Г. Александрову], д-ру биол. наук, профессору Л. В. Воробьёвой и канд. биол. наук, заведующему отделом качества водной среды, С.Е. Дятлову, за неоценимую помощь в работе.

Литература

1. Jones E.B.G., Sakayaroj J., Suetrong S., Somrithipol S., Pang K.L. Classification of marine Ascomycota, anamorphic taxa and Basidiomycota // Fungal Diversity. 2009. Vol. 35. PP. 1–187.
2. Jones E.B.G., Suetrong S., Sakayaroj J., Bahkali A.H., Abdel-Wahab M.A., Boekhout T., Pang K.-L. Classification of marine Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota and Chytridiomycota // Fungal Diversity. 2015. Vol. 73. PP. 1–72. doi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13225-015-0339-4>
3. Pang K.-L., Overy D.P., Jones E.B.G., Calado M. Da.L., Burgaud G., Walker A.K., Johnson J.A., Kerr R.G., Cha H.-J., Bills G.F. 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: Toward a new consensual definition // Fungal Biology Reviews. 2016. Vol. 30, Issue 4. PP. 163–175. doi: [10.1016/j.fbr.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.08.001)
4. Одесский регион Черного моря: гидробиология пелагиали и бентали / Л.В. Воробьева, И.И. Кулакова, И.А. Синегуб, Л.Н. Полищук, Д.А. Нестерова, А.С. Бондаренко, А.А. Снигирева, А.А. Рыбалко, С.А. Кудренко, В.В. Портянко, Р.В. Мигас, Е.Е. Узун, И.В. Олефир; Под общ. ред. Б.Г. Александрова. Одесса : Астропринт, 2017. 324 с.
5. Методы экспериментальной микологии. Справочник / ред. В.И. Билай. Киев : Наукова думка, 1982. 550 с.
6. Билай В.И., Коваль Э.З. Аспергиллы. Определитель. Киев : Наукова думка, 1988. 202 с.
7. De Hoog G.S., Guarro J., Gene J., Figueras M.J. Atlas of clinical fungi. Utrecht: CBS; Spain.: Reus, 2000. 1126 p.
8. Index Fungorum [Electronic resource]. Available at: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (accessed 15.02.–10.05.2020).
9. Clarke K.R., Warwick R.M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness // Marine Ecology Progress Series. 2001. Ser. 216. PP. 265–278.
10. Clarke K.R., Gorley R.N., Somerfield P.J., Warwick R.M. Change In Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation, 3rd edition PRIMER-E: Plymouth. 2014. 262 p.

11. Неврова Е.Л. Структурные основы региональных отличий таксономического разнообразия донных диатомовых (Bacillariophyta) Чёрного моря // Морской биологический журнал. 2016. Т. 1, № 1. С. 43–63.
12. Mouillot D., Gaillard S., Aliaume C., Verlaque M., Belsher T., Troussellier M., Do Chi T. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environments based on macrophyte communities // Ecological Indicators. 2005. № 5 (1). PP. 1–17. doi: [10.1016/j.ecolind.2004.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2004.04.004)
13. Копытина Н.И. Водные микроскопические грибы Понто-Каспийского бассейна (чек-лист, синонимика) / ред. Л.И. Рябушко. Воронеж : Ковчег, 2018. 292 с. doi: [10.21072/978-5-6042082-0-5](https://doi.org/10.21072/978-5-6042082-0-5)
14. Прокопенко Е.В. Пауки (AraneI) урочища Грабовое (Пятихатский район Днепропетровской области) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1–2. С. 63–70.
15. Терехова В.А. Микромитеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М. : Наука, 2007. 215 с.
16. Дятлов С.Е., Кошелев А.В., Петросян А.Г., Павлова Е.А., Секундяк Л.Ю. Интегральная оценка качества воды и донных отложений полигона «Одесский регион северо-западной части Чёрного моря» // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2013. № 2 (55). С. 50–56.
17. Дятлов С.Е., Чепіжко О.В., Урдя В.О. Міжрічна мінливість вмісту важких металів у воді та донних відкладах полігону «Одеський регіон ПЗЧМ» // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2012. Вып. 26, т. 1. С. 257–269.
18. Доценко С.А., Подплетная Н.Ф., Савин П.Т. Динамика нефтяного загрязнения вод и донных осадков у берегов Одессы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2011. Т. 1, вып. 25. С. 220–228.
19. Дятлов С.Е., Гончаров А.Ю., Богатова Ю.И. Трофический статус северо-западной части Черного моря // Вода: гигиена и экология. 2013. № 1 (1). С. 51–60.
20. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов. М. : ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 2014. 162 с.
21. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв / Т.Я. Ашихмина, Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, И.Г. Широких, А.А. Широких, А.И. Фокина, С.Г. Скугорева, Е.А. Горностаева, Е.С. Соловьёва, Е.В. Товстик, С.Ю. Огородникова, Ю.Н. Зыкова; Под общ. ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров : Науч. изд. ВятГУ, 2018. 254 с.
22. Донерьян Л.Г., Водянова М.А., Тарасова Ж.Е. Микроскопические почвенные грибы – организмы-биоиндикаторы нефтезагрязненных почв // Гигиена и санитария. 2016. № 95 (9). С. 891–894. doi: [10.18821/0016-9900-2016-95-9-891-894](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-9-891-894)
23. Григориади А.С., Якупова А.Б., Амирова А.Р., Ерохина Н.И. Микологическая оценка почвы, загрязненной отходами производства нефтеперерабатывающей промышленности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 155–157.
24. Al-Dossary M.A., Abood S.A., Hamid T.AL-Saad. Biodegradation of Crude Oil Using *Aspergillus* species // Journal of Biology Agriculture and Healthcare. 2019. Vol. 9, № 4. PP. 60–64. doi: [10.7176/JBAH/9-4-09](https://doi.org/10.7176/JBAH/9-4-09)
25. Al-Nasrawi H. Biodegradation of Crude Oil by Fungi Isolated from Gulf of Mexico // Journal of Bioremediation & Biodegradation. 2012. Vol. 3, is. 4. 147. doi: [10.4172/2155-6199.1000147](https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000147)

26. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М. : «Медицина для всех». Национальная Академия Микологии, 2005. 196 с.

Поступила в редакцию 18.05.2020 г.; повторно 04.09.2020 г.;
принята 27.10.2020 г.; опубликована 29.12.2020 г.

Копытина Надежда Ивановна – канд. биол. наук, с.н.с. отдела аквакультуры и морской фармакологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН”» (Россия, 299011, г. Севастополь, пр. Адмирала П.С. Нахимова, 2).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3201-9334>

E-mail: kopytina_n@mail.ru

Для цитирования: Копытина Н.И. Микобиота пелагиали Одесского региона северо-западной части Чёрного моря // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2020. № 52. С. 140–163. doi: [10.17223/19988591/52/8](https://doi.org/10.17223/19988591/52/8)

For citation: Kopytina NI. Mycobiota of the pelagic zone of Odessa region in the northwestern Black Sea. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;52:140-163. doi: [10.17223/19988591/52/8](https://doi.org/10.17223/19988591/52/8) In Russian, English Summary

Nadezda I. Kopytina

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russian Federation

Mycobiota of the pelagic zone of Odessa region in the northwestern Black Sea

Mycobiota of the marine area of Odessa region was studied (30°70'00"-31°00'00"N, 46°23'00"-46°60'00"E) (See Fig. 1). Hydrological and hydrochemical regimes of the marine area of Odessa region in the northwestern Black Sea are affected by the discharge of the Dnieper (93.4%) and the Southern Bug (5.7%) rivers, the permanent anthropogenic discharges of the cities of Odessa, Chernomorsk (Ilyichyovsk), Yuzhnyi and their ports, shipping, dredging, and the open sea. The aim of this work was to study the species composition, the number of colony forming units (CFU) and the dynamics of the spatiotemporal distribution of reared microfungi as a function of abiotic factors and the trophic level of seawater in this area. Water samples were taken in summer and autumn 2008-2012 in the surface (1 m depth) and bottom (7-24 m depth) layers. The samples were taken, at least, in three replicates. The results of processing 258 samples from 22 stations were analyzed. The effects of environmental factors (water temperature, salinity, dissolved oxygen, five-day biochemical oxygen demand, petroleum hydrocarbons, dissolved metals Cu, Zn, Ni, Cd and suspended particulate matter) were studied in 140 samples (See Table 1). Micromycetes were isolated on Czapek's medium prepared in sea water. 1 ml of sample water was added to a Petri dish and filled with medium cooled to approximately 36-40 °C. To suppress the growth of bacteria, 0.03% chloramphenicol was added to the medium (by volume of the medium). Cultivation was carried out at a temperature of 18-20 °C for 2-8 weeks. Micromycetes were identified by morphological and cultural characteristics according to Vera Bilay and Eleonora Koval' (1988) and GS De Hoogh et al. (2000). Nomenclature, and taxonomy of fungi correspond to The Index Fungorum database. The ecological analysis of mycocomplexes was carried out according to: species composition, the number of species in complexes, frequency of occurrence of a species and the number of colony-forming units (CFU / L).

In this research, 50 fungal species of 19 genera, 14 families, 9 orders, 4 classes of the division Ascomycota were revealed. Fungal taxa from Odessa region were grouped

into families. The family Aspergillaceae included the genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* (27 species); the family Pleosporaceae included the genera *Alternaria* and *Stemphylium* (8); and there were 3 species of the genus *Cladosporium* from the family Cladosporiaceae. In total, 76.0% of species found were from the three families (See Table 2). Using Average Taxonomic Distinctness index, AvTD (Δ^+), and Variation in Taxonomic Distinctness index, VarTD (Δ^+), features of the taxonomic diversity of mycocomplexes were revealed. These indices were calculated from a matrix of micromycete species from the region under study combined with the fungi list (master list, 219 species) of the Black Sea pelagic zone. In the analysis, the taxonomy levels from Species to Kingdom were included. For the indices Δ^+ and Δ^+ , 95% probability funnel graphs were plotted, and their mean expected values were calculated for mycobiota of the region under study and for mycocomplexes from each station. It was found out that the mean expected values of the index Δ^+ for mycobiota of the marine area of Odessa region and the stations are considerably lower, and index Δ^+ values are higher than those for the sea as a whole (See Fig. 2 and 3).

According to literature sources, no significant seasonal and inter-annual changes in the trophic status of the region occurred in 1992-2010. It was transitional between mesotrophic and eutrophic. The long-term mean TRIX value was 5.3 (4-5: medium trophic level; 5-6: high trophic level and poor water quality). In the species composition and numerical structure of mycocomplexes of the mesotrophic and eutrophic zones, no significant differences were detected. Over the entire period of this research, a relatively uniform distribution of the mean abundance of fungi over the area and depth was noted (See Table 3). No significant correlation was found between abiotic parameters under study and micromycete abundance over the horizons, seasons, sampling dates, location of stations, as well as mesotrophic and eutrophic zones.

In the region, 44% of fungi-indicators of different kinds of pollution were registered. In the areas of stormwater runoff and wastewater treatment plant discharges, the indicator value (*IndVal*) was the largest for melanin-containing fungi *Cladosporium cladosporioides* (28.3%), *Alternaria alternata* (17.5%), and *Aspergillus niger* (12.3%), which are resistant to several adverse environmental factors. In the eutrophic zone, large values of the indices were found in *Aspergillus clavatus* (21.2%), *Penicillium expansum* (17.7%), *Penicillium citrinum* (16.1%), *Al. tenuissima* (12.5%), and in *A. fumigatus* (60%), *Al. alternata* (40%) and *A. niger* (35.7%) in places of local oil pollution. It is established that in the entire marine area of Odessa region, the formed mycocomplexes have a high similarity in species and numerical structure, and therefore, they can be considered as a single community.

The paper contains 3 Figures, 3 Tables and 26 References.

Key words: *Alternaria*; *Aspergillus*; *Penicillium*; taxonomic diversity of marine fungi; fungi-indicators.

Funding: The work was performed as a part of the state assignment of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences (Project No AAAA-A18-118021350003-6).

Acknowledgments: The author expresses her sincere gratitude to the staff of the Institute of Marine Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine (Odessa): Professor Yuvhenaly P Zaitsev Academician of NASU; Professor Boris G Aleksandrov, Dr. Sci. (Biol.), Corresponding Member of NASU; Professor Lyudmila V Vorobyova, Dr. Sci. (Biol.); Sergey E Dyatlov, Cand. Sci. (Biol.), Head of the Department of Aquatic Environment Quality, for their valuable help in the research.

References

1. Jones EBG, Sakayaroj J, Suetrong S, Somrithipol S, Pang KL. Classification of marine Ascomycota, anamorphic taxa and Basidiomycota. *Fungal Diversity*. 2009;35:1-187.
2. Jones EBG, Suetrong S, Sakayaroj J, Bahkali AH, Abdel-Wahab MA, Boekhout T, Pang K-L. Classification of marine Ascomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota and Chytridiomycota. *Fungal Diversity*. 2015;73:1-72. doi: [10.1007/s13225-015-0339-4](https://doi.org/10.1007/s13225-015-0339-4)
3. Pang K-L, Overy DP, Jones EBG, Calado MDaL, Burgaud G, Walker AK, Johnson JA, Kerr RG, Cha H-J, Bills GF. 'Marine fungi' and 'marine-derived fungi' in natural product chemistry research: Toward a new consensual definition. *Fungal Biology Reviews*. 2016;30(4):163-175. doi: [10.1016/j.fbr.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.08.001)
4. *Odessa region of the Black Sea: Hydrobiology of pelagic and benthic areas*. LV Vorob'eva, II Kulakova, IA Sinegub, LN Polishchuk, DA Nesterova, AS Bondarenko, AA Snigireva, AA Rybalko, SA Kudrenko, VV Portyanko, RV Migas, EE Uzun, IV Olefir and BG Aleksandrov, editors. Odessa: Astroprint Publ.; 2017. 324 p. In Russian
5. *Metody eksperimental'noy mikologii. Spravochnik* [Methods of experimental mycology. Handbook]. VI Bilay, editor. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1982. 550 p. In Russian
6. Bilay VI, Koval' EZ. *Aspergilly. Opredelitel'* [Identification guide of the genus *Aspergillus*]. Kiev: Naukova dumka Publ.; 1988. 202 p. In Russian
7. De Hoog GS, Guarro J, Gene J, Figueras MJ. Atlas of clinical fungi. 2nd ed. Utrecht, Spain: Reus Publ.; 2000. 1126 p.
8. *Index Fungorum* [Electronic resource]. Available at: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (accessed 15.02.-10.05.2020).
9. Clarke KR, Warwick RM. A further biodiversity index applicable to species lists: Variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*. 2001;216:265-278.
10. Clarke KR, Gorley RN, Somerfield PJ, Warwickb RM. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. 3rd ed. Plymouth: PRIMER-E; 2014. 262 p.
11. Nevrova EL. The structural basis of regional differences in taxonomic diversity of benthic diatoms (Bacillariophyta) of the Black Sea. *Morskoy biologicheskiy zhurnal = Marine Biological J*. 2016;1(1):43-63. In Russian, English Summary
12. Mouillot D, Gaillard S, Aliaume C, Verlaque M, Belshe T, Troussellier M, Do Chi T. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environments based on macrophyte communities. *Ecological Indicators*. 2005;5(1):1-17. doi: [10.1016/j.ecolind.2004.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2004.04.004)
13. Kopytina NI. Vodnye mikroskopicheskie griby Ponto-Kaspiyskogo basseyna (chek-list, sinonimika) [Microfungi of the Ponto-Caspian basin (check-list and synonymy)]. Ryabushko LI, editor. Voronezh: OOO Kovcheg Publ.; 2018. 292 p. doi: [10.21072/978-5-6042082-0-5](https://doi.org/10.21072/978-5-6042082-0-5) In Russian, English Summary
14. Prokopenko EV. Spiders (Aranei) in Grabove ravine (Piatikhatkinskiy district, Dnepropetrovsk region). *Problemy ekologii i okhrany prirody tekhnogennoho regiona = Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region*. 2018;1-2:63-70. In Russian, English Summary
15. Terekhova VA. Micromycetes in ecological evaluation of aquatic and terrestrial ecosystems. Moscow: Nauka Publ.; 2007. 215 p. In Russian, English Summary
16. Dyatlov SE, Koshelev AV, Petrosyan AG, Pavlova EA, Sekundyak LYu. Water quality and bottom sediments integrated assessment of the polygon "Odessa region of the northwestern part of the Black sea". *Naukovi zapiski Ternopil's'kogo natsional'nogo pedagogichnogo universitetu imeni Volodimira Gnatyuka. Seriya: Biologiya* = *Scientific Issues Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University Series: Biology*. 2013;2 (55):50-56. In Russian

17. Dyatlov SE, Chepizhko OV, Urdya VO. Mizhrichna minlivist' vmistu vazhkikh metaliv u vodi ta donnikh vidkladakh poligonu "Odes'kiy region PZChM" [Interrannual variability of the viscous metals content in water and bottom deposits of the landfill]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources]. 2012;26(1):257-269. In Ukrainian
18. Dotsenko SA, Podpletnaya NF, Savin PT. Dinamika neftyanogo zagryazneniya vod i donnykh osadkov u beregov Odessy [Dynamics of oil pollution of waters and bottom sediments off the coast of Odessa]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and complex use of resources]. 2011;1(25):220-228. In Russian, English Summary
19. Dyatlov SE, Goncharov AYu, Bogatova YuI. Troficheskiy status severo-zapadnoy chasti Chernogo morya [The trophic status of the northwest part of Black sea]. *Voda: gigiena i ekologiya = Water: Hygiene and Ecology*. 2013;1(1):51-60. In Russian
20. Shabanov VV, Markin VN. Metodika ekologo-vodokhozyaystvennoy otsenki vodnykh ob'ektov [Methodology for environmental and water management assessment of water bodies]. Moscow: FGBOU VPO RGAU MSKhA im. KA Timiryazeva Publ.; 2014. 162 p. In Russian
21. *Mikroorganizmy kak agenty biomonitoringa i bioremediatsii zagryaznennykh pochv* [Microorganisms as agents of biomonitoring and bioremediation of polluted soils]. Ashikhmina TYa, Domracheva LI, Kondakova LV, Shirokikh IG, Shirokikh AA, Fokina AI, Skugoreva SG, Gornostaeva EA, Solov'eva ES, Tovstik EV, Ogorodnikova SYu and Zykova YuN, editors; Ashikhmina TYa and Domracheva LI, editors in-chiefs. Kirov: Nauch. izd. VyatGU Publ.; 2018. 254 p. In Russian
22. Doner'yan LG, Vodyanova MA, Tarasova ZhE. Microscopic soil fungi - bioindicators organisms contaminated soil. *Gigiena i sanitariya = Hygiene & Sanitation*. 2016;95(9):891-894. doi: [10.18821/0016-9900-2016-95-9-891-894](https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-9-891-894) In Russian, English Summary
23. Grigoriadi AS, Yakupova AB, Amirova AR, Erokhina NI. Mikologicheskaya otsenka pochvy, zagryaznennoy otkhodami proizvodstva neftepererabatyvayushchey promyshlennosti [Mycological assessment of soil, polluted by waste products of petroleum industry]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011;13(5-2):155-157. In Russian
24. Al-Dossary MA, Abood SA, AL-Saad Hamid T. Biodegradation of Crude Oil Using *Aspergillus* species. *J Biology, Agriculture and Healthcare*. 2019;9(4):60-64. doi: [10.7176/JBAH/9-4-09](https://doi.org/10.7176/JBAH/9-4-09)
25. Al-Nasrawi H. Biodegradation of crude oil by fungi isolated from Gulf of Mexico. *J Bioremediation & Biodegradation*. 2012;3(4):147. doi: [10.4172/2155-6199.1000147](https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000147)
26. Marfenina OE. The anthropogenic ecology of soil fungi. Moscow: «Meditcina dlya vseh» Natsional'naya Akademiya Mikologii. Publ.; 2005. 196 p. In Russian, English Summary

Received 18 May 2020; Revised 04 September 2020;
Accepted 27 October 2020; Published 29 December 2020

Author info:

Kopytina Nadezhda I, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Department of Aquaculture and Marine Pharmacology, Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences (IBSS) 2, Nakhimov Ave., Sevastopol 299011, Russian Federation.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3201-9334>

E-mail: kopytina_n@mail.ru