

УДК 556:628.19:581.526.225(262.5)

ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ПОЛОВИНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ВЕСНОЙ В СВЯЗИ С СОВМЕСТНЫМ ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ, ПУЛА БИОГЕНОВ И УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ*

Минкина Н.И.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН»,
г Севастополь, Российская Федерация,
e-mail: niminkina@yandex.ru

По ретроспективным данным с помощью факторного анализа оценено совместное влияние абиотических, антропогенных и биотических параметров среды на обилие фитопланктона в основных слоях пелагиали северной половины Черного моря в весенний период (март, май) 1992 г. Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек: Дуная, Днепра, Днестра, Буга. В марте обилие батипланктона под термоклином положительно коррелировало с биомассой водорослей. В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпи- и желетелого планктона. Выявлено синэргическое позитивное воздействие превалирующих поллютантов (Fe, Cr и Cu) на биомассу микроводорослей. Показано, что влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров.

Ключевые слова: Черное море, обилие фитопланктона, весна, абиотические и биотические параметры среды, биогены, загрязнение, факторный анализ, совместное влияние.

Введение

Планктонные водоросли, продукция которых лежит в основе функционирования всей пелагической пищевой цепи, обладают высокой скоростью воспроизводства и, быстро реагируя на изменения в экосистеме, могут служить чувствительным индикатором действия на неё различных факторов. К таковым относятся: изменчивость гидрометеорологической обстановки, трофические взаимовлияния, а также антропогенное воздействие.

Исследованию пространственно-временной изменчивости обилия фитопланктона в Черном море посвящено большое количество работ. Известно, что численность и биомасса фитопланктона в разные годы и сезоны значительно варьируют в акватории Черного моря (Белогорская, Кондратьева, 1965, Георгиева, 1993, Mikaelyan et al., 2013). Анализ внутригодовой изменчивости проводился для районов северо-западной части (Брянцева, 2000; Кривенко, Пархоменко, 2010), северо-восточной (Арашкевич и др., 2015), а также в районе Карадага (Сеничева, 2004) и в Севастопольской бухте (Стельмах и др., 2009). Межгодовая изменчивость биомассы фитопланктона оценена в работах (Маштакова, Самышев, 1986; Грузов и др., 1994; Кривенко, Пархоменко, 2010; Mikaelyan et al., 2013). При анализе изменения структуры планктонных сообществ в северо-западной и восточной частях Черного моря с 1960 по 1983 гг. был сделан вывод о том, что эти изменения связаны с эвтрофикацией водоема, вызванной в свою очередь изменениями в гидроструктуре моря, а также возрастанием биогенного стока с суши (Маштакова, Самышев, 1986). Бурное развитие фитопланктона в северо-западной части Черного моря связано с мощной подпиткой поверхностных слоев моря фосфатами, нитратами и силикатами вследствие поднятия

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме АААА-А18-118021490093-4 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом».

глубинных вод (Зайцев, 2006). На рост обилия фитопланктона в Черном море также оказывает влияние вертикальная циркуляция вод, возникающая в прибрежных районах при сгонно-нагонных процессах и в открытой части моря в результате «экмановской накачки» за счет неоднородности поля ветра (Брянцева и др., 1996; Kubryakov et al., 2016; Крашенинникова и др., 2019).

Сообщества черноморского планктона подвержены влиянию загрязнителей. Целостное представление о токсикологическом поле вод северной половины Черного моря в 90-гг. прошлого столетия и его сезонной и пространственной изменчивости впервые было получено в ходе уникального эксперимента, выполненного сотрудниками Украинского научно-исследовательского центра экологии моря Министерства охраны окружающей природной среды (УкрНЦЭМ, г. Одесса) при участии специалистов Института биологии южных морей в рамках проекта ЭКОМОНОК Государственной программы «Глобальные изменения природной среды и климата» ГКНТ СССР (Исследования экосистемы ..., 1994; Деньга и др., 1994; Мединец и др., 1994; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

При действии различных экологических факторов и антропогенных загрязнений в первую очередь изменяются фотосинтетическая активность и численность клеток водорослей. Не представляется возможным экспериментально оценить влияния всего спектра поллютантов на сообщество фитопланктона. Специфика ответных реакций на действие различных концентраций токсикантов зависит от систематического положения микроводорослей, их физиологического состояния, активности ферментов, времени воздействия и т.д. Для быстрой диагностики состояния сообщества фитопланктона в природных условиях развиваются современные экспресс-методы регистрации флуоресценции хлорофилла, которые позволяют получать информацию о количестве и активности фототрофных организмов, а также по характеристикам состояния фотосинтетического аппарата оценивать физиологическое состояние клеток и судить о качестве водной среды. Важным преимуществом этих методов является их высокая чувствительность, что позволяет быстро диагностировать состояние фитопланктона непосредственно в среде его обитания *in situ* в режиме реального времени (Осипов, 2006). Этот метод не позволяет выявить основные факторы, влияющие на состояние сообщества микроводорослей.

В результате целого ряда исследований господствующим стало представление об антропогенной природе механизма усиления вегетации водорослей в 70-х - начале 80-х гг., а естественная составляющая (физические и биотические факторы) оказалась выпавшей из рассмотрения. Вместе с тем с середины 80-х годов отмечена четкая тенденция снижения биомассы фитопланктона, как на западе, так и на востоке моря, что не согласуется с антропогенной гипотезой. Сопоставление многолетних изменений в планктоне Черного моря дали основание предположить их и природную (климатическую) причину (Грузов и др., 1994). Очевидно, что многолетние изменения в фитопланктоне вод Черного моря обусловлены совместным воздействием как природных, так и антропогенных факторов.

Проблема заключается в том, что практически невозможно разделить воздействия как непосредственные (прямое загрязнение), так и опосредованные, влияющие на фоне широкой амплитуды природной изменчивости климатических и гидробиологических процессов. Кроме того, сообщество черноморского фитопланктона подвержено влиянию целого ряда различающихся по своей природе поллютантов, состав и концентрация которых определяются как объемом их поступления в экосистему в различные сезоны, так и гидроструктурой вод (Маштакова, Самышев, 1986; Oguz, 2005; Crain et al., 2008; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012; Крашенинникова и др., 2019).

Необходимо выявить синэргические (совместные) реакции сообщества микроводорослей на стрессоры, т.е. такие реакции, когда суммирующий эффект взаимодействия нескольких факторов существенно превосходит эффект каждого отдельного параметра в виде их простой суммы (Crain et al., 2009; Смоляков, Жигула, 2001; Совга, 2005; Смоляков и др., 2010).

Синэргические реакции можно пытаться количественно и качественно описать с помощью одного из методов многомерной статистики – факторного анализа. Основным смыслом факторного анализа заключается в выделении из всей совокупности переменных только небольшого числа латентных, независимых друг от друга группировок, внутри которых переменные связаны сильнее, чем переменные, относящиеся к разным группировкам. Факторный анализ позволяет решить две важные проблемы исследователя: описать объект измерения всесторонне и в то же время компактно (Буреева, 2007).

Количественное описание синэргических реакций популяций и сообществ гидробионтов остаются «белым пятном» в океанологических исследованиях. Отсюда следует **актуальность проблемы**, решаемой в данной работе: количественная оценка совместного влияния гидрологических параметров, обеспеченности биогенами и комплексного загрязнения вод Черного моря на функционирование сообщества фитопланктона в весенний период. **Задачей** данного исследования является выявление по ретроспективным данным основных факторов, повлиявших в 90-е годы прошлого столетия на трофический статус вод северной половины Черного моря по биомассе фитопланктона, их вкладу и направленности в весенний период. Выбор для такого анализа именно весеннего периода обусловлен наиболее высоким уровнем загрязненности пелагиали весной (март, май), связанным с паводком рек (Демидов, 2008; Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

На основе регрессионного анализа нами была сделана попытка оценить связи превалирующих поллютантов и биомассы фитопланктона в Черном море с использованием этого же массива данных. Биомасса водорослей положительно коррелировала с концентрацией Cu, Cr, Fe, хотя коэффициенты корреляции были невелики и изменялись в пределах 0,1–0,18 (Крашенинникова и др., 2019). Этот статистический метод является скорее разведочным, чем позволяет количественно оценить совместное влияние параметров среды и биотических факторов на функционирование сообщества фитопланктона.

Многомерные статистические методы среди множества возможных вероятностно-статистических моделей позволяют обоснованно выбрать ту, которая наилучшим образом соответствует исходным статистическим данным, характеризующим реальное поведение исследуемой совокупности объектов, а также позволяет оценить надежность и точность выводов, сделанных на основании ограниченного статистического материала. В данной работе сделана попытка интерпретировать результаты факторного анализа, выполненного с целью оценки совместного влияния гидрологических, гидрохимических, биотических параметров и загрязнения на функционирование сообщества фитопланктона, определяемое изменчивостью биомассы микроводорослей.

Материалы и методы

Для исследования пространственно-временной изменчивости фитопланктона северной половины Черного моря использовали данные, полученные в шести научно-исследовательских рейсах на судах УкрНЦЭМ с участием сотрудников ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского. Регулярные комплексные съемки обширной акватории северной части моря (в пределах экономзон СНГ – 42°20' – 46°30' N и 30°00' – 41°00' E) продолжительностью 20–25 суток каждая были выполнены по единой сетке станций в

марте-начале апреля и в мае 1992 г. (60-й и 61-й рейсы НИС Г. Ушаков) (Исследования экосистемы ..., 1994). В период съемок на станциях I разряда, выполнявшихся ежедневно с 8 до 14 часов астрономического времени, осуществлялся комплекс стандартных наблюдений – метеорологических, гидрологических, гидрохимических и гидробиологических. Пробы фитопланктона собирались 30-литровым пластиковым батометром “Niskin” с горизонтов, соответствующих освещенности 100, 46, 25, 10 и 1 %. Дополнительно отбирали пробы фитопланктона с учетом стратификации вод (над термоклинном, в термоклине и под термоклинном. На станциях II-го разряда, выполнявшихся 2–6 раз в течение суток, пробы фитопланктона отбирали на стандартных горизонтах: 0, 10, 25, 50 и 100 м.

Использованы данные о биомассе фитопланктона, полученные сотрудниками УкрНЦЭМ Л.А. Виноградовой, В.Н. Василевой, О.Г. Осетровым, А.Е. Ивлевым и сотрудницей отдела функционирования морских экосистем ИнБЮМ Ю.В. Брянцевой.

Для анализа были использованы сведения о следующих структурных компонентах экосистемы Черного моря:

– абиотические параметры среды (данные УкрНЦЭМ) на всех 108 станциях – средние в основных слоях моря температура, соленость, содержание кислорода; общая глубина на станции, глубина залегания термоклина, толщина основных слоев, глубина залегания изооксигены 1 мл/л (границы слоя сосуществования кислорода и сероводорода), прозрачность воды; среднее содержание биогенов – NO_2 , NO_3 , общего фосфора; антропогенные факторы (на 10 станциях) – средние концентрации поллютантов (тяжелых металлов Hg, Zn, Ni, Cu, Pb, Cr, Cd, Fe, мышьяка и нефтепродуктов (НУВ)) (Мединец и др., 1994; Деньга и др., 1994);

– биотические параметры: средневзвешенные в слоях значения биомассы фитопланктона (на 18 станциях) (Брянцева, 2000), биомассы эпипланктона, батипланктона и желетелых организмов (Грузов и др., 1994).

Абиотические характеристики среды и биомасса зоопланктона приводятся по данным УкрНЦЭМ и переданы нам в порядке обмена по Договору о научном сотрудничестве ИнБЮМ и УкрНЦЭМ.

Основные слои пелагиали – поверхностный микрослой (ПМС), верхний перемешанный слой (ВПС) или, что тоже, верхний квазиоднородный слой, слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м рассматриваются в данной работе как самостоятельные биотопы. Использовались средневзвешенные величины всех параметров в основных слоях пелагиали (Newhose, 1968). Данные о выявленных преобладающих поллютантах, карты и анализ их распределения, поля биомассы микроводорослей и зоопланктона в основных слоях пелагиали приведены в наших работах (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012; Крашенинникова и др., 2019).

Для получения факторных моделей был использован стандартный пакет Statistica 22. Параметры для расчетов выбирались на основании наибольших коэффициентов корреляции между ними и значениями биомассы фитопланктона. Отбор числа факторов выполнен с использованием критерия Кайзера, использовано варимаксное вращение системы координат осей-факторов. Факторы описываются линейными уравнениями, слагаемыми которых являются выбранные репрезентативные параметры с некоторыми коэффициентами нагрузки. При интерпретации результатов использовались только параметры, имевшие коэффициенты нагрузки $>0,7$ (Буреева, 2007).

Результаты и их обсуждение

Распределение биомассы фитопланктона весной 1992 г. в основных слоях пелагиали – поверхностном микрослое (ПМС), верхнем перемешанном или квазиоднородном слое (ВПС), слое термоклина и в слое под термоклином до 50 м и их

трофический статус по международной классификации Global International Waters Assessment (Borysova et al., 2005) изображено на рис. 1.

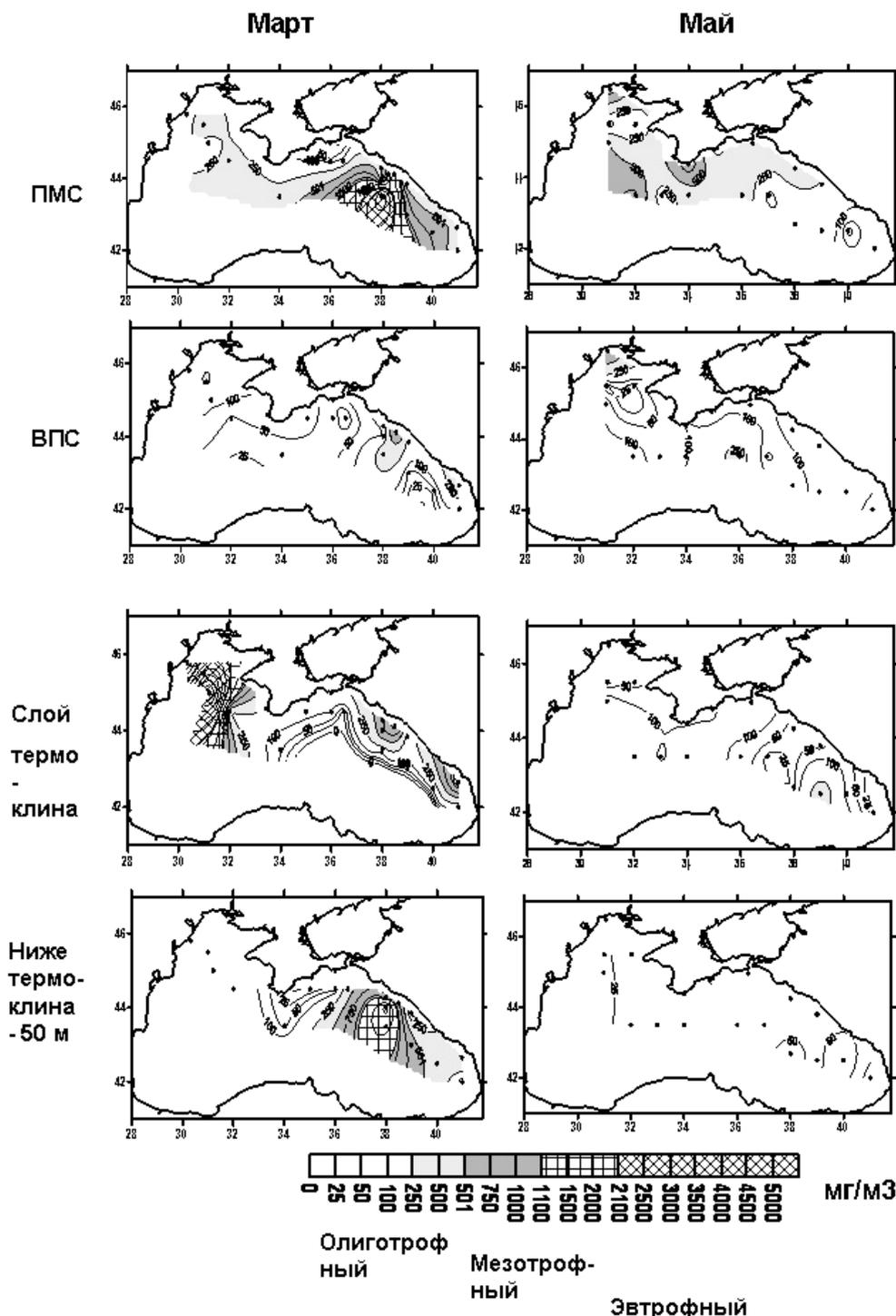


Рис. 1 – Распределение биомассы фитопланктона (mg/m^3) и трофический статус основных слоев пелагиали весной 1992 г.

Выявлено повышение в марте-начале апреля трофности ПМС в северо-восточной части моря, где максимальная биомасса фитопланктона достигала $10,8 \text{ г}/\text{м}^3$, и на северо-западе в слое термоклина до эвтрофного уровня ($5,3 \text{ г}/\text{м}^3$). В слое ниже термоклина на северо-востоке максимальные величины обилия фитопланктона достигали $2,2 \text{ г}/\text{м}^3$, что характерно для мезотрофных-эвтрофных вод. Такая ситуация согласуется с представлениями о появлении в марте 1992 г. продуктивной зоны вблизи

материкового склона (Грузов и др., 1994). Остальные водные массы в марте и вся акватория в мае характеризовались олиго- и мезотрофным уровнем развития фитопланктона. В выделенных основных слоях пелагиали концентрация водорослей значительно превышала средние величины для всего 100-метрового слоя, которые в марте достигали $1 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ на северо-западном шельфе и у восточных берегов Крыма и $0,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ в центральной и восточных частях моря. В мае биомасса фитопланктона от 1 до $1,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ была отмечена только на северо-западном шельфе, тогда как в центральной части моря она не превышала $0,1 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ и $0,5 \text{ г}\cdot\text{м}^{-3}$ – в восточной.

На фоне многолетних изменений структуры сообщества фитопланктона по данным комплексных съемок УкрНЦЭМ Ю.В. Брянцевой было показано, что уровень развития фитопланктона в 1992–1993 гг. в восточном районе незначительно превосходил среднемноголетние величины, а в северо-западном районе – был сопоставим с ними. Изменчивость в суммарной биомассе водорослей сопровождалась изменениями в отношении биомассы диатомовых к биомассе перидиниевых водорослей (D/P), вклад диатомей в суммарную биомассу фитопланктона с 70-х по 80-е годы на востоке стал возрастать, а на северо-западе – снижаться, затем в обоих районах наблюдалось возрастание доли перидиниевых водорослей. В 1992 г. она достигла максимума относительно предшествующих лет. В восточном районе биомасса перидиней стала почти равной биомассе диатомовых, а индекс D/P снизился относительно среднемноголетнего значения в 6 раз вследствие эвтрофикации моря (Брянцева, 2000). В этой работе автор выполнила оценку вклада климатического и антропогенного факторов на дисперсию биомассы фитопланктона. Ею установлено, что межгодовая изменчивость биомассы водорослей в значительной степени обусловлена изменчивостью атмосферной циркуляции (через воздействие на циркуляцию вод), вклад которой в дисперсию биомассы фитопланктона в открытых водах в 70-е – начале 90-х гг. достигал от 18 до 56%.

Влияние антропогенного фактора на структуру сообщества фитопланктона Ю.В. Брянцевой оценивалось на основании интегрального показателя – объемами отъёма речного стока и связанного с ним его сезонного перераспределения. Такой подход не позволяет выделить как основные поллютанты-стрессоры, так и вклад совместного воздействия климатических, биотических и антропогенных параметров пелагиали на фитопланктон. Эту задачу на основании имеющихся данных мы попытались решить с помощью факторного анализа.

Для факторной модели были рассмотрены 25 исходных параметров. В качестве репрезентативных были отобраны по 9 параметров, имеющих наибольшие парные корреляции с величинами биомасс водорослей для каждого слоя пелагиали (табл. 1, 2) за исключением слоя ниже термоклина в марте, данные для которого были получены только на 9 глубоководных станциях. На основании критерия Кайзера были выделены три фактора. В марте-начале апреля для верхнего перемешанного слоя (ВПС):

$$B = 2,45 F1 + 2,28 F2 + 1,92 F3, \quad (1)$$

$$F1 = -0,872 \text{ Hg} + 0,871 \text{ Cr} + 0,6 \text{ Zn} + 0,51 \text{ NO}_2 - 0,61 \text{ Cu} + 0,251 \text{ Pb} - 0,266 \text{ BG} + 0,284 \text{ H thermocline} + 0,302 \text{ BPL}$$

$$F2 = 0,941 \text{ Cu} + 0,925 \text{ Pb} + 0,572 \text{ Zn}$$

$$F3 = 0,879 \text{ BG} + 0,829 \text{ H thermocline} + 0,551 \text{ BPL},$$

где B – биомасса фитопланктона в ВПС;

F1... F3 – выделенные факторы, значения концентраций металлов в воде;

BG – биомасса желетелого планктона в $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$;

BPL – биомасса батипланктона в $\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$.

Таблица 1.

Корреляция (R²) гидрологических и гидрохимических характеристик верхнего перемешанного слоя (ВПС) с биомассой фитопланктона весной 1992 г

№ ст.	Глубина, м	Термоклина, м	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Температура воды, Т, °С	Соленость воды, S ₀ ‰	Глубина станции Н tot, м	Освещенность по диску Секки, м	Глубина залегания Н взоексигены, м	НВ в ПМС, мг/л	Fe, мг/л		мкг/л							Биогены		
										ПМС	ВПС	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂ , мкг/л	NO ₃ , мг/л	P общ., мкг/л
21	14	5	274,44	5,73	15,82	10	6	-	0,05	0,1	0,45	3,8	2,3	5,5	1,2	15,5	0,031	3	0,75	5,5	6,47
23	27	3	44,21	6,99	18,11	1100	9	37	0,05	0,1	0,44	3,8	2,3	5,6	1,3	15,6	0,031	3,0	1,63	11,6	6,94
24	27	3	120,91	6,52	18,11	55	11	-	0,05	0,1	0,2	3,8	2,35	5,6	1,2	14	0,031	3,2	0,83	5,35	3,68
35	8	9	149,99	7,11	18,44	2200	11	47	0,09	0,14	0,05	0,8	2,45	5,4	0,71	2,2	0,038	4,0	0,93	3,58	2,51
39	5	10	162,1	5,56	16,91	17	17	-	0,05	0,1	0,45	4	2	5,7	1,3	16	0,031	3,0	0,88	9,83	13,95
44	38	0	25,9	7,25	17,98	38	9	-	0,15	0,15	0,1	1	2	5	2	7	0,034	5,0	1,15	14,83	4,26
53	11	19	63,24	7,88	18,12	1600	10	124	0,2	0,15	0,06	1,2	1,5	7	2	10	0,0348	4,8	0,84	2,98	2,1
55	17	4	40,63	7,92	18,14	1100	9	125	0,2	0,142	0,15	1,8	4,5	8,8	4,1	11,5	0,033	4,0	1,13	7,26	4,29
65	15	15	17,6	7,84	18,16	655	9	144	0,08	0,15	0,07	0,75	1,2	4	1	7	0,035	6	0,51	5,67	5,76
66а	9	11	540,37	7,17	18,26	2150	11	68	0,08	0,01	0,02	0,6	1,6	3	0,8	2	0,038	6	0,4	0,75	1,53
69	15	5	146,93	7,09	18,05	1800	12	145	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,6	2,45	0,041	6,5	1,10	18,98	2,13
77	12	6	107,37	7,23	18,28	1850	12	92	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,6	2,45	0,04	6,5	0,32	8,03	0,48
81	27	6	39,65	7,16	18,27	2000	12	92	0,075	0,06	0,02	0,62	1,65	2,55	0,67	2,45	0,029	6,5	1,33	5,30	0,00
85	5	5	874,27	7,16	18,18	1395	11	140	0,08	0,06	0,02	0,6	1,6	2,5	0,7	2	0,044	6,3	0,37	6,39	0,15
90	27	6	35,32	7,21	18,21	1780	11	90	0,1	0,13	0,04	0,6	1	3,2	0,7	1,5	0,037	3	0,55	5,01	0,48
93	15	5	164,04	7,36	18,09	750	12	143	0,1	0,134	0,02	0,56	1,75	1,5	1,95	1,05	0,048	6,0	0,83	10,49	0,20
96	18	5	105,39	7,08	18,03	1300	11	119	0,1	0,126	0,04	0,64	1,04	3,2	0,71	1,34	0,04	3,0	0,61	1,78	0
100	5	5	453,54	7,3	17,65	1050	12	148	0,1	0,13	0,04	0,64	1	3,2	0,7	1,5	0,04	3	1,69	11,02	5,67
R ²	-0,583	-0,034	1	-0,13	-0,101	0,129	0,09	-0,19	-0,22	-0,50	-0,15	-0,16	-0,19	-0,344	-0,3	-0,276	0,447	0,189	-0,26	-0,14	-0,126

Март-начало апреля

Продолжение таблицы 1.

№ ст.	Глубина, м	Термклина, м	Толщина, м	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰	Глубина станции Н tot, м	Глубина залегания Н изоксигеня, м	НУВ, мг/л	Fe, мг/л	мкг/л							Биогены		
											Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л	P общ., мг/л
21	4	3	813,24	13,59	15,35	15	-	0,01	0,25	2	15	7	2,5	120	0,05	4	3,7	0,2	0,71	
23	18	12	6,83	11,78	17,89	35	-	5,27	0,214	1,86	13,96	6,48	2,23	115,14	0,046	3,44	1,02	2,65	1,85	
24	15	10	81,45	12,53	18,01	54	-	0,01	0,19	1,65	9	5,6	2	95	0,046	3	0,35	0,6	1,88	
35	11	4	152,48	14,32	17,96	1850	93	0	0,070	0,91	4,17	1,84	1,09	5,82	0,045	2,0	0,5	1,1	1,88	
39	15	10	18,96	9,5	17,92	33	-	0,01	0,17	1,5	10	5,2	1,9	90	0,048	2	1,3	0,2	0	
44	5	10	51,57	15,32	18,44	2150	62	0,01	0,08	1	5	3	1,3	60	0,048	2	0,63	2	0	
53	10	11	104,30	13,88	17,68	73	-	0,01	0,08	1	6	3,6	1,5	80	0,050	3,3	0,55	2,7	0	
55	11	10	89,84	13,95	18,36	2195	64	0	0,078	0,90	5,00	3,55	1,5	97,35	0,048	2,0	0,25	1,5	2,58	
65	15	10	56,84	12,52	17,46	70	-	0,06	0,08	1	5	3,4	1,4	75	0,052	5	0,8	0,9	0	
66a	10	5	58,72	13,19	17,81	42	-	0,01	0,055	1	5	2,6	1,2	45	0,054	7,7	0,7	0,7	1,88	
69	10	15	337,97	12,63	18,31	2190	47	0	0,06	1	4	2,8	1,25	55	0,048	5,5	0,4	2,5	0,86	
77	5	28	40,28	14,42	18,36	2160	71	0	0,05	1	3,5	2,25	1,2	32,5	0,050	7	0	5	0	
81	6	24	133,31	12,85	17,61	1450	121	0	0,025	0,72	3,22	1,5	0,88	4,53	0,056	10,5	0,8	2,5	0	
85	5	20	69,33	14,78	18,25	2120	72	0	0,06	1,3	4	2,6	1,45	30	0,037	4,5	0,4	1,6	0	
90	6	15	121,23	13,64	18,16	2010	70	0	0,09	1,9	4	3,3	1,7	27,5	0,028	2,5	0,3	3,3	1,17	
93	6	24	153,72	13,9	17,26	1480	121	0	0,020	0,57	2,78	1,5	2,41	5,18	0,040	3,5	0,6	5,1	2,12	
96	5	25	213,15	12,72	17,98	1650	93	0	0,144	2,83	2,62	4,68	1,6	47,74	0,012	1,0	0,1	1,7	2,12	
100	5	24	53,55	13,79	17,91	1375	163	0	0,05	1,4	2	1,5	1	20	0,01	1,0	0,7	2,1	3,29	
R ²	-0,61	-0,26	1	0,08	-0,794	-0,10	-0,24	-0,18	0,419	0,288	0,401	0,382	0,39	0,26	0,06	0,032	0,77	-0,22	-0,038	
Допустимые концентрации по (Коршенко и др., 2009)								0,05	0,05	1,00	5,00	10,00	10,0	50,0	0,100	10,0	-	-	-	-

Примечание: Репрезентативные параметры выделены жирным шрифтом.

Таблица 2.

Корреляция биотических характеристик верхнего перемешанного слоя с биомассой фитопланктона весной 1992 г.

№ ст.	Долгота	Широта	Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Биомасса зоопланктона, мг/м ³			Биомасса фитопланктона, мг/м ³	Биомасса зоопланктона, мг/м ³		
				Эпи-	Бати-	Желе-образный		Эпи-	Бати-	Желе-образный
				Март				Май		
21	31	45,5	274,44	71,3	115,7	26,14	813,24	-	-	129,29
23	32,00	44,50	44,21	2,94	18,49	2,93	6,83	8,36	28,35	692,97
24	31,2	45	120,91	30,6	95,95	87,18	81,45	86,5	13,45	704,06
35	34,00	43,50	149,99	-	-	-	152,48	0,22	21,77	2596,19
39	30,33	45,8	162,1	15,03	37,53	0	18,96	98,47	41,13	1488,66
44	36	45	25,9	38,58	85,56	3068,49	51,57	0,23	0,49	5791,86
53	35	44,5	63,24	0,12	1,8	104,43	104,30	137,05	154,86	5996,03
55	36,00	44,50	40,63	0,00	70,89	98,98	89,84	1,98	7,32	373,25
65	36,5	44,5	17,6	0,05	83,22	452,98	56,84	207,28	11,28	958
66а	38	43,5	540,37	0,15	0,65	0	58,72	33,52	6,47	1024,56
69	38	44,28	146,93	0,71	96,86	788,95	337,97	0,8	0,22	1057,85
77	38	44	107,37	0,05	8,95	60	40,28	0,02	0,3	2542,47
81	39,00	43,00	39,65	0,32	26,02	206,83	133,31	0	13,22	12772,5
85	38,5	44,12	874,27	0,05	2,98	186,16	69,33	0,4	0,49	687,26
90	40	42,5	35,32	0,07	8,99	371,42	121,23	0	0,08	1022,97
93	39,00	43,85	164,04	0,29	44,49	1053,96	153,72	0,03	28,07	351,45
96	41,00	42,00	105,39	1,19	96,4	553,69	213,15	0,35	8,74	449,48
100	40,98	42,65	453,54	0	4,89	123,65	53,55	0	23,9	129,29
Коэффициент парной корреляции R ² с биомассой фитопланктона			1	-0,045	-0,36	-0,236	1	0,745	-0,113	-0,16

Примечание: Репрезентативные параметры выделены жирным шрифтом.

Жирным шрифтом выделены значимые нагрузки параметров. Совокупная дисперсия, объясненная этой факторной моделью, приведена в табл. 3. Распределение значимых параметров в факторном пространстве для верхнего перемешанного слоя весной 1992 г. изображено на рис. 2.

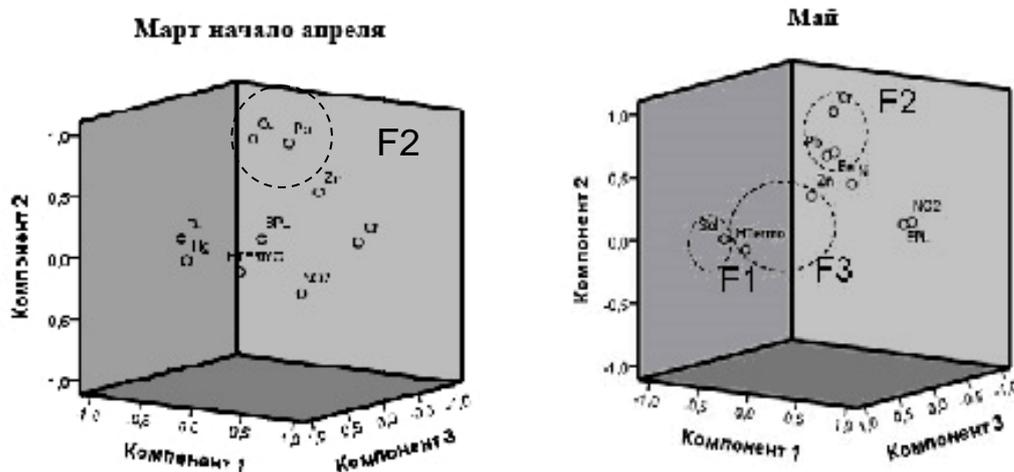


Рис. 2. Распределение значимых параметров в факторном пространстве для верхнего перемешанного слоя весной 1992 г.

Из табл. 3 и уравнений (1) следует, что воздействие концентраций ртути и хрома на дисперсию биомассы фитопланктона в ВПС в марте составило по 13,5%, но имело противоположную направленность. При этом следует отметить, что ртуть не была превалирующим поллютантом во всех слоях пелагиали (табл. 4) и ее содержание в воде нигде не превышало допустимую концентрацию (табл. 1). Медь и свинец в составе второго фактора в марте вносят еще по 12,5% в дисперсию биомассы фитопланктона в ВПС.

Таблица 3.

Объясненная факторными моделями совокупная дисперсия

Фактор	Процент объясненной дисперсии		Процент дисперсии после варимаксного вращения	
	Март-начало апреля	Май	Март-начало апреля	Май
1	38,16	57,63	27,20	37,59
2	19,00	20	25,31	29,02
3	16,66	11,53	21,30	22,55
Сумма	73,82	89,16	73,82	89,16

Таблица 4.

Превалирующие загрязнители в толще вод северной половины Черного весной 1992 г. и превышение их содержания допустимых концентраций по (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012)

Март-апрель			Май			
Поверхностный микрослой (ПМС)						
Среднее, %	Fe	НУВ	Cr	Cr	Fe	НУВ
	231,0	205,0	72,5	390,0	377,3	205,0
Максимум, %	284,0	400,0	100,0	890,0	764,0	400,0
Верхний перемешанный слой (ВПС)						
Среднее, %	Fe	Cr	Cu	Fe	Cr	Zn
	241,7	137,0	45,6	109,3	104,5	83,8
Максимум, %	880,0	380,0	90,0	254,0	233,0	209,1
Слой термоклина						
Среднее, %	Fe	Pb	Cu	Fe	Cr	Cu
	164,0	108,0	164,0	191,3	104,5	57,0
Максимум, %	164,0	108,0	164,0	606,0	200,0	110,0
Слой от нижней границы термоклина до 100 м						
Среднее, %	Fe	Cu	Cr	Fe	Cr	Cu
	153,2	145,4	74,8	124,3	112,8	49,3
Максимум, %	482,0	547,0	123,0	334,0	180,0	78,0

Третий фактор определяется глубиной залегания термоклина, который ограничивает верхний перемешанный слой. Чем ниже он залегает, тем толще основной продуктивный слой ВПС и выше биомасса водорослей. Отсутствие в составе этого фактора биомассы рачкового планктона, по-видимому, объясняется активным его выеданием желетелыми. На долю этих параметров приходится по 10,5% суммарной дисперсии биомассы фитопланктона. То есть, в марте мы наблюдали, что вклад антропогенного загрязнения в дисперсию биомассы микроводорослей составил в ВПС около 52,5%, на долю абиотических параметров приходится около 10,5 % и вклад биоты – еще 10,5%.

Ситуация в ВПС в мае описывается следующей факторной моделью:

$$B = 3,38 F_1 + 2,61 F_2 + 2,03 F_3, \quad (2)$$

$$F1 = -0,963 \text{ Sol} + 0,934 \text{ NO}_2 + 0,916 \text{ EPL} + 0,5 \text{ Ni} + 0,032 \text{ Cr} + 0,422 \text{ Fe} + 0,394 \text{ Pb} - 0,141 \text{ H Termo} + 0,374 \text{ Zn}$$

$$F2 = 0,969 \text{ Cr} + 0,761 \text{ Fe} + 0,742 \text{ Pb}$$

$$F3 = 0,941 \text{ H Termo} - 0,722 \text{ Zn} + 0,53 \text{ Pb},$$

где Sol – соленость воды в ВПС в ‰;
 NO₂ – концентрация нитритов в мкг·л⁻¹;
 EPL – биомасса эпипланктона в мг·м⁻³;
 H Termo – глубина залегания термоклина, м.

Из уравнений (2) и табл. 3 следует, что основными параметрами главного фактора, определяющего биомассу фитопланктона в ВПС в мае, являлись соленость воды и содержание в ней нитритов. Известна негативная реакция сообщества фитопланктона на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек – Дуная, Днепра, Днестра, Буга. Повышенное содержание нитритов в мае по сравнению с мартом–началом апреля (табл. 1) объясняется выносом биогенов в море с этим паводком. Негативный эффект распреснения поверхностных вод на рост водорослей компенсировался возрастанием концентрации биогенов, но ограничивался, по-видимому, активным выеданием растительных клеток активно размножающимся в этот сезон эпипланктоном. Вклад солености, концентраций нитритов и эпипланктона оказался примерно равным – около 13% объясненной дисперсии биомассы фитопланктона (табл. 3).

Воздействие превалирующих загрязнителей – хрома и железа – проявилось в дополнительном втором факторе и оказалось сопоставимым с таковым свинца. Их суммарный вклад составил 23%.

Третий фактор определялся как глубиной залегания термоклина, так и негативным воздействием на биомассу водорослей (около 7%) еще одного превалирующего в ВПС металла – цинка (табл. 4).

Таким образом, на долю загрязнения ВПС в мае приходилось около 40% суммарной объясненной дисперсии биомассы фитопланктона, на абиотические параметры (соленость и глубина залегания термоклина) – в сумме около 23%, на пул биогенов (нитриты) – 13% и на биотические параметры (биомасса эпипланктона) – еще 13%.

Оценка вклада различных экологических факторов в суммарную дисперсию биомассы фитопланктона, рассчитанного на основании полученных многомерных статистических моделей, дана в табл. 5.

Таблица 5.

Оценка вклада экологических факторов различной природы в дисперсию биомассы фитопланктона северной половины Черного моря весной 1992 г.

Слой	Март-начало апреля 1992 г.				Суммарная объясненная дисперсия
	Антропогенный	Абиотический	Пул биогенов	Биота	
ПМС	49%	11%	19%	-	79,2%
ВПС	52,5%	10,5%	-	10,5%	73,82%
Термоклин	13%	40%	-	22%	74,97%
Ниже-50 м	22%	21%	-	20%	63,13%
Май 1992 г.					
ПМС	36%	26%	8%	7%	77,48%
ВПС	40%	23%	13%	13%	89,16%
Термоклин	35%	24%	17%	-	76,48%
Ниже-50 м	46%	34%	-	-	80,72%

Направленность совместного воздействия комплекса использованных параметров на обилие фитопланктона во всех основных слоях пелагиали северной части Черного моря весной 1992 г. по результатам факторного анализа представлена в табл. 6. Классификация загрязнения в таблице приводится по методике ГОИН (Коршенко и др., 2009) на основании оценки индекса загрязнения воды (ИЗВ) по результатам наших предыдущих работ (Дзицкий и др., 2011, Dzitsky et al., 2012).

Наиболее сильное антропогенное воздействие на сообщество фитопланктона, наблюдавшееся в марте-начале апреля (табл. 5), объясняется выносом как биогенов, так и поллютантов в деятельный слой пелагиали в результате зимней конвекции. Уровень развития ракообразного зоопланктона ранней весной еще невысок (табл. 2), выедание им микроводорослей в модели не было выявлено. Но, по-видимому, перезимовавшие популяции желетелых активно потребляли рачков во всех основных слоях пелагиали (уравнения 1, табл. 3, 6).

Ранее показано, что интенсивность биоседimentации в фотическом слое Черного моря на протяжении всего годового цикла 1992 г. в мае была максимальной (Самышев, 2009; Samyshev, Minkina, 2017). Поэтому эффект антропогенного загрязнения в этом месяце, несмотря на паводок рек, в верхних слоях пелагиали снижается из-за активного выведения поллютантов отмирающим фито- и бурно развившимся эпипланктоном (табл. 2). Эта ситуация нашла отражение и в появлении в составе главного фактора, действовавшего в поверхностных слоях моря, параметра биомассы эпипланктона, активно потреблявшего клетки водорослей.

Выводы

Основные слои пелагиали – поверхностный микрослой (ПМС), верхний перемешанный слой (ВПС), слой термоклина и слой ниже термоклина до 50 м – рассматриваются в данной работе как самостоятельные биотопы. Хотя по литературным данным уровень развития фитопланктона в 1992 г. в восточном районе незначительно превосходил среднеголетние величины, а в северо-западном районе – был сопоставим с ними, выявлено повышение трофности ПМС в северо-восточной части моря и на северо-западе в слое термоклина до эвтрофного уровня в марте-начале апреля 1992 г. Слой пелагиали ниже термоклина до 50 м на северо-востоке можно охарактеризовать как мезотрофный-эвтрофный. Остальные водные массы в марте и вся акватория в мае характеризовались олиго- и мезотрофным уровнем развития фитопланктона.

Использование многомерного факторного анализа позволило оценить совместное влияние целого ряда стрессоров различной природы на сообщество микроводорослей. Показано чередование основных стрессоров в различные месяцы года. В марте таковыми являлись превалирующие в воде тяжелые металлы, в мае – понижение солености из-за распреснения поверхностных вод, связанных с паводком крупных рек – Дуная, Днепра, Днестра, Буга.

Результатами факторного анализа подтверждается известная негативная реакция сообщества фитопланктона в поверхностном микрослое (ПМС) и в верхнем перемешанном слое (ВПС) на распреснение поверхностных вод в мае из-за паводка крупных рек. Одновременно показана позитивная реакция на содержание в воде нитритов, смываемых в море с паводком.

Впервые выявлено синэргическое позитивное воздействие превалирующих в Черном море поллютантов – железа, хрома и меди на сообщество микроводорослей. Обнаружены негативная реакция сообщества фитопланктона на содержание в воде ртути в ВПС в марте и цинка в слое термоклина в мае. В марте обилие батиопланктона под термоклинном положительно коррелировало с обилием водорослей.

Таблица 6.

Направленность совместного воздействия комплекса использованных параметров на обилие фитопланктона в северной части Черного моря весной 1992 г. по результатам факторного анализа

Месяц	Слой моря	Класс загрязнения вод по (Дзицкий и др., 2011)	Fe	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Hg	As	NO ₂	NO ₃	h ст.	h термо-клина	Толщина термо-клина	h H ₂ S	hO ₂	t°C	Sol	O ₂	BP _L	EP _L	BG
Март-начало апреля	ПМС	IV «Загрязненная»	+	+	(+)	+						(+)	-										
	ВПС	III «Умеренно загрязненная»		+	(+)	(+)			-				(+)	(+)									(+)
	Термо-клин Ниже термо-клина	- III								+			+	(+)	(+)		+					(+)	(+)
Май	ПМС	V «Очень грязная»	+	(+)	+						+									-			(+)
	ВПС	III	(+)	(+)					(+)		+			(+)									+
	Термо-клин Ниже термо-клина	III	+						+	(+)		(+)					-			(-)			(+)

Примечания: “+” или “-” – направленность реакции сообщества фитопланктона; в скобках выделено направление воздействия, выявленных в составе дополнительных факторов; h ст – глубина станции; h термо-клина – глубина залегания термоклина; h H₂S – граница сероводородного слоя; hO₂ – глубина изоксигены 1 мл/л; t°C – средневзвешенная температура в слое; Sol – средневзвешенная соленость в слое; O₂ – средневзвешенная концентрация кислорода в слое; BP_L, EP_L, BG – средневзвешенные биомассы бати-эпи-желтелого планктона в слое соответственно.

В мае в поверхностных слоях такая связь проявилась с обилием эпи- и желетелого планктона.

Впервые выполнена оценка суммарного вклада экологических факторов различной природы – абиотических, антропогенных, пула биогенов и биотических – на состояние сообщества фитопланктона. Наиболее сильное антропогенное воздействие на сообщество фитопланктона, наблюдавшееся в марте-начале апреля, связано с выносом биогенов и поллютантов в деятельный слой пелагиали в результате зимней конвекции. В мае эффект антропогенного загрязнения снижался в верхних слоях пелагиали из-за активного выведения поллютантов отмирающим фито- и эпиланктоном.

Влияние комплексного загрязнения моря на функционирование сообщества фитопланктона в пределах временного интервала исследований порядка месяца может быть более значимым, чем воздействие гидрологических и гидрохимических параметров. Поэтому в комплексных гидробиологических исследованиях необходимо планировать измерения параметров загрязнения морской среды и гидробионтов.

Список литературы

1. Арашкевич Е.Г., Луптова Н.Е., Никишина А.Б., Паутова Л.А., Часовников В.К., Дриц А.В., Подымов О.И., Романова Н.Д., Станичная Р.Р., Зацепин А.Г., Куклев С.Б., Флинт М.В. Судовой экологический мониторинг в шельфовой зоне Черного моря: оценка современного состояния пелагической экосистемы // *Океанология*. – 2015. – Т. 55(6). – С. 964–970.
2. Белогорская Е.В., Кондратьева Т.М. Распределение фитопланктона в Черном море. – Киев: Наукова думка, 1965. С. 36–68.
3. Брянцева Ю.В. Изменчивость структурных характеристик фитопланктона в Черном море: дисс. ... канд. биол. наук. Спец. 03.00.17 – Гидробиология. – Севастополь: Ин-т биологии южных морей им. А.О. Ковалевского НАН Украины, 2000. – 171 с. (Рукописн.).
4. Брянец В.А., Брянцева Ю.В. Многолетние изменения в фитопланктоне глубоководной части Черного моря в связи с естественным и антропогенным факторами // *Экология моря*. – 1999. – № 49. – С. 24–28.
5. Брянцева Ю.В., Брянец В.А., Ковальчук Л.А., Самышев Э.З. К вопросу о долгосрочных изменениях биомассы диатомовых и перидиниевых водорослей Черного моря в связи с атмосферным переносом // *Экология моря*. – 1996. – Вып. 45. – С. 13–18.
6. Бурева Н.Н. Многомерный статистический анализ с использованием ППП “STATISTICA”. – Нижний Новгород, 2007. – С. 46–60.
7. Георгиева Л.В. Видовой состав и динамика фитоцены // *Планктон Черного моря / Отв. ред. А.В. Ковалев, З.З. Финенко*. – Киев: Наукова думка, 1993. – С. 31–55.
8. Грузов Л.Н., Люмкис П.В., Нападковский Г.В. Исследования пространственно-временной структуры планктонных полей северной половины Черного моря в 1992–93 гг. / *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 94–127. *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 94–127.
9. Денга Ю.М., Зарубин Ю.В., Трескунов Б.О. Загрязнение морской среды и приводной атмосферы Черного моря нефтью и нефтепродуктами / *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр.* (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря). – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 24 – 29.

10. Демидов А. Б. Сезонная изменчивость и оценка годовых величин первичной продукции фитопланктона в Черном море // *Океанология*. – 2008. – Т. 48. № 5. – С. 718–733.
11. Дзицкий В.С., Минкина Н.И., Орлова И.Г., Самышев Э.З. Комплексная оценка загрязненности вод Черного моря в 90-е годы прошлого столетия // *Системы контроля окружающей среды. Средства, модели и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. Морской гидрофизический ин-т*. – Севастополь, 2011. – Вып. 15. – С. 265–273.
12. Зайцев Ю.П. Введение в экологию Черного моря. – Одесса: Эвен, 2006. – 224 с.
13. Исследование экосистемы Черного моря: сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря) / ред. В.Н. Мединец. – Вып. 1. – Одесса, 1994. – 158 с.
14. Коршненко А.Н., Матвейчук И.Г., Плотникова Т.И., Удовенко А.В. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. – Ежегодник федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – Обнинск: изд-во ГОИН. – 2009. – 13 с.
15. Крашенинникова С.Б., Минкина Н.И., Самышев Э.З., Шокурова И.Г. Влияние комплекса факторов среды на биомассу фитопланктона и зоопланктона в Черном море в весенний период // *Экология и строительство*. – 2019. – № 4. – С. 14–21.
16. Кривенко О.В., Пархоменко А.В. Пространственная и временная изменчивость биомассы фитопланктона в Чёрном море за период 1948–2001 гг. // *Морской экологический журнал*. – 2010. – Т. 9, № 4. – С. 5 – 24.
17. Маштакова Г.В., Самышев Э.З. Структура планктонных сообществ в Черном море и её изменения в 1960–1983 гг. // *Исследования экосистемы пелагиали Черного моря*. – М.: изд-во ИОАН, 1986. – С. 238–240.
18. Мединец В. И., Колосов А. А., Колосов В. А. Токсичные металлы в морской среде // *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч. тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря)*. 1994. Вып. 1. С. 47–53.
19. Мединец В.И., Грузов Л.Н., Орлова И.Г., Василева В.Н., Попов Ю.И. Исследование годового цикла основных элементов экосистемы северной части Черного моря // *Исследование экосистемы Черного моря: Сб. науч.тр. (Министерство охраны окружающей природной среды Украины, Укр. науч. Центр экологии моря)*. – Вып.1. – Одесса, 1994. – С. 12-16.
20. Минкина Н.И., Самышев Э.З., Минкин С.И. Совместное влияние гидрологических условий, пула биогенов и уровня загрязнения весной на обилие фитопланктона в северной половине Черного моря // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2019): материалы XVI Межд. научно-техн. конф. (Москва, 15-17 мая 2019 г.)*. Том II. – М.: ИД Академия Жуковского, 2019. – С. 232–235.
21. Осипов В.А. Зависимость флуоресцентных параметров микроводорослей от факторов среды, включая антропогенное загрязнение. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Спец. 03.00.16 – экология, 03.00.02 – биофизика. – М.: Московский гос. университет им. М.В. Ломоносова, 2006. – 22 с.
22. Самышев Э.З. Содержание взвешенного органического вещества и интенсивность его седиментации в фотическом слое вод Черного моря // *Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ*: – Севастополь, 2009. – С. 352-359.
23. Сеничева М.И. Сезонная динамика фитопланктона в районе Карадага // *Карадаг. Гидробиологические исследования. Сб. научн. Тр., посвященный 90-летию Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского и 25-летию Карадагского природного заповедника. Книга 2-я*. – Симферополь: СОНАТ, 2004. – С. 55–62.

24. Смоляков Б.С., Жигула М.В. Экологические последствия трансформации химических форм металлов-поллютантов в реальном пресном водоёме // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – №9. – С. 283–291.
25. Смоляков Б.С., Рыжих А.П., Романов Р.Е. Поведение Сб, Рб и Сд в пресном водоёме: влияние минеральных взвешенных частиц и планктонных организмов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 18. – С. 603-613.
26. Совга Е.Е. Загрязняющие вещества и их свойства в природной среде. – Морской гидрофиз. ин-т НАНУ, ЧФ МГУ им. М.В. Ломоносова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2005. – 237 с.
27. Стельмах Л.В., Куфтаркова Е.А., Бабич И.И. Сезонная изменчивость скорости роста фитопланктона в прибрежных водах Чёрного моря (район Севастополя) // Морской экологический журнал. 2009. Т. 8, № 1. С. 67 – 80.
28. Borysova O., Kondakov A., Paleari S., Rautalahti-Miettinen E., Stolberg F., Daler D. Eutrophication in the Black Sea region; Impact assessment and causal chain analysis // Global International Waters Assessment (GIWA) / Published by the University of Kalmar with an agreement with the GEF-UNDP Black Sea Ecosystem Recovery Project. – 2005. – Univ. of Kalmar (Sweden). – P.33.
29. Crain C., Halpern B., Kroeker K.J. Interactive and cumulative effects of multiple stressors in marine systems // Ecology Letters. – 2008. – N 11. – P. 1304–1315
30. Dzitsky V.S., Minkina N.I., Orlova I.G., Samyshev E.Z. The seawater pollution survey in the northern Black Sea // Turkish Journal of Fishery and Aquatic Sciences. – 2012. – Vol. 12. – P. 507–522.
31. Kubryakov A.A., Stanichny S., Zatsepin A.G., Kremenetskiy V.V. Long-term variations of the Black Sea dynamics and their impact on the marine ecosystem // Journ. of Marine Systems. – 2016. – Vol. 163. – P. 80–94.
32. Mikaelyan A.S., Zatsepin A.G., Chasovnikov V.K. Long-term changes in nutrient supply of phytoplankton growth in the Black Sea // J. of Mar. Sys. – 2013. – Vol. 117–118. – P. 53–64.
33. Newhose Y. Daily euphotic zone primary productivity «Pionner» cruise of the international Indian Ocean expedition // Arch. Oceanogr. Limnol. – 1968. – Vol. 16. P. 1–43.
34. Oguz T. Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections // Oceanography. – 2005. – Vol. 18, N 2. – P. 122–133.
35. Samyshev E.Z., Minkina N.I. The seasonal variability and sedimentation rate of suspended matter in photic layer of the Black Sea // Environment and Ecology Research. – Horizon Res. Publishing, USA, 2017. – V. 5(3). – P. 226-234. doi: 10.13189/eer.2017.050308.

**ABUNDANCE OF PHYTOPLANKTON IN THE NORTHERN HALF OF THE
BLACK SEA DURING SPRING IN THE RATIO TO UNITED IMPACT OF
HYDROLOGICAL CONDITIONS, POOL OF BIOGENS AND LEVEL OF
CONTAMINATION**

Minkina N.I.

*A.O.Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: niminkina@yandex.ru*

By retrospective data with use of the factor analysis the combined impact of abiotic, anthropogenous and biotic parameters of environment on the abundance of phytoplankton in the main layers of the north part of the Black sea pelagial in spring (March, May) in 1992 is estimated. The results of factor analysis confirm the known negative response of the community of phytoplankton on superficial waters desalining in May because of the flood of major rivers: Danube, Dnieper, Dniester, Bug. The abundance of bathyplankton under thermocline positively correlated with the biomass of microalgae in March. In May in superficial layers such relation showed up with the abundance of epi- and gelatinous plankton. Synergic positive influence of prevalent pollutants (Fe, Cr and Cu) on the biomass of

phytoplankton is revealed. It is shown that impact of complex contamination of the sea on functioning of community of phytoplankton within the limits of monthly researches can be more meaningful, than influence of hydrological and hydrological parameters.

Keywords: the Black Sea, spring, abundance of phytoplankton, abiotic and biotic parameters of environment, biogens, contamination, the factor analysis, combined impact.

Минкина Наталья Иосифовна Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела функционирования морских экосистем, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», e-mail: niminkina@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2020 г.