

ЭВТРОФИКАЦИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ: МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА

O.A. Юнев

Институт биологии южных морей
НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: yupnev@mail.ru

В статье приводится аналитический обзор опубликованных в разное время оценок годовой первичной продукции фитопланктона глубоководной части и всего Черного моря в целом. Полученные для разных лет и межгодовых периодов величины годовой продукции сопоставляются с многолетними изменениями наиболее используемых индикаторов эвтрофикации в связи с развитием этого процесса в глубоководной части моря.

Введение. По определению Скотта Никсона [1], “эвтрофикация – это увеличение скорости поступления органического вещества в экосистему”. Это определение сфокусировано на основном процессе рассматриваемого явления, а именно, на увеличении метаболических ресурсов и, потенциально, на увеличении трофического статуса экосистемы. Известно, что основными источниками органического вещества, поступающего в водные экосистемы, являются процессы первичного производства внутри самой системы (автохтонный углерод) и поступление органического вещества извне (аллохтонный углерод). Имеется немного надежных измерений поступления аллохтонного углерода в морские системы, тогда как первичная продукция достаточно хорошо определена во многих морях [1, 2]. Именно поэтому, в основу современной классификации трофности внутренних морей положены величины годовой первичной продукции ($\text{г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$), отображающие че-тыре трофических уровня: олиготрофный (<100), мезотрофный ($100\text{--}250$), эвтрофный ($250\text{--}450$) и гипертрофный (>450) [3]. Исходя из того, что величина годовой первичной продукции используется для классификации трофности морских экосистем, ее увеличение за последние десятилетия могло бы быть количественным выражением эвтрофикации Черного моря. Однако, в отличие от наи-

более часто используемых индикаторов эвтрофикации таких как концентрация хлорофилла *a*, биомасса фитопланктона, концентрация биогенных веществ и кислорода, глубина видимости диска Секки [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], измерений первичной продукции, которые бы позволили оценить ее годовые величины в Черном море, немного.

С большой степенью вероятности можно полагать, что значительное поступление биогенных веществ в Черное море в 70-х – 80-х гг. XX столетия [5, 12] привело и к эвтрофикации этого бассейна и, как следствие, к существенному увеличению его современного трофического статуса. Действительно, в своем обзоре по проблеме антропогенной эвтрофикации морской пелагии В.Е. Заика [13] определяет это явление, именно, как «...существенное увеличение трофического статуса, по сравнению с характерным для данной экосистемы, из-за необычно высокого снабжения биогенами эвфотического слоя». При этом под трофическим статусом экосистемы понимается, в первую очередь, достигаемая величина первичной продукции фитопланктона [13], а точнее, ее годовая величина [1].

Вместе с тем, если эвтрофикация черноморского шельфа не вызывает никаких сомнений, то в отношении эвтрофикации глубоководных районов Черного моря имеются противоречивые точки зрения. Из анализа оценок годовой первичной продукции для разных лет и межгодовых периодов для глубоководных районов и всего моря в целом, которые представлены в таблице, следует, что в ее оценках для 1950-х – 1960-х гг. имеются значительные отличия. Более того, некоторые из этих оценок превышают величины для более позднего периода, что противоречит самой сути эвтрофикации [1, 13].

В связи с этим, целью настоящей работы является: 1) проведение подробного анализа, полученных ранее оценок годовой первичной продукции Черного моря и 2) сравнение ее динамики с индикаторами эвтрофикации в период с 1960-х по начало 2000-х гг.

Анализ опубликованных оценок годовой первичной продукции. Прежде чем проводить анализ оценок годовой первичной продукции Черного моря для разных

Таблица – Оценки годовой, интегральной по глубине первичной продукции (ГПП, г С м⁻² год⁻¹), сделанные разными авторами для разных лет и межгодовых периодов для глубоководных районов и всего Черного моря в целом.

ГПП	Месяцы и годы, по данным которых оценивалась ГПП		Регион	Источник
	месяцы	годы		
180	весна и осень	1950-ые	Все море	[14]
240	весна и осень	1950-ые	Все море	[15]
109	август, октябрь	1960	Все море	[16]
112	август, октябрь	1960	Все море	[17]
220	август - октябрь	1960, 1964, 1978	Все море	[18]
40	май - октябрь	1961, 1962	Глубоководные районы	[19]
120-170	январь, март	1988	Глубоководные районы	[20]
170-186	январь-декабрь	1998-2004	Глубоководные районы	[21]

лет и межгодовых периодов следует отметить, что существует целый ряд ее оценок, которые не приводятся в табл., поскольку они представляют собой среднемноголетние величины, рассчитанные приблизительно для 25-30-летнего периода [15, 22, 23, 24, 25]. Такие величины годовой продукции фитопланктона, к сожалению, не могут быть отнесены ни к доэвтрофикационному периоду, ни к какой-либо фазе эвтрофикации, а следовательно, не могут быть использованы для нашего анализа.

Отдельно от всех остальных находятся величины годовой продукции фитопланктона для 1950-х гг. Они были получены без применения современного ¹⁴C метода определения суточной первичной продукции, внедренного в практику гидробиологических исследований на Черном море начиная с 1960 г. [16]. Не вдаваясь в специфические особенности методов измерения продукции фитопланктона в 1950-х гг. и их возможных отличий от ¹⁴C метода, которые достаточно подробно изложены в книге Ю.И. Сорокина 2002 г. [15], следует отметить, что опубликованные им и В.Г. Дацко величины годовой первичной продукции всего Черного моря в целом для 1950-х гг., являются максимальными среди всех остальных оценок, или приблизительно такими же высокими, как и для современного периода (табл.). Более того, сравнивая данные для всего бассейна, полученные в 1960-х гг., с данными поздних 1970-х-1980-х гг., Ю.И. Сорокин пришел к выводу об отсутствии значительного увеличения первичной продукции всего Черного моря после эвтрофикации района его северо-западного и западного шельфов [15]. По

его мнению, вклад этих областей черноморского шельфа в продукцию всего бассейна является недостаточно высоким, чтобы вызвать такое увеличение. Очевидно, что в данном случае речь идет об отсутствии различий между величинами годовой первичной продукции именно в глубоководной части Черного моря. Можно предположить также, что к такому выводу Ю.И. Сорокин пришел, руководствуясь, прежде всего, своими ранними оценками, в которых он был, однако, не всегда последовательным.

Первые оценки годовой первичной продукции всего Черного моря (109 и 112 г С м⁻² год⁻¹, табл.) были сделаны Ю.И. Сорокиным по данным определения суточной продукции в двух экспедициях: в августе и октябре 1960 г. Поскольку, это были первые определения первичной продукции с применением ¹⁴C на Черном море и они были сделаны только для двух месяцев, то для оценки годовой продукции Ю.И. Сорокин был вынужден сделать некоторые предположения. Так, полагая, что определения фотосинтеза были выполнены в период «осеннего максимума и летнего минимума развития фитопланктона», он считал возможным принять средние величины первичной продукции за август и октябрь для различных районов Черного моря близкими к среднегодовой суточной продукции в этих районах и использовать их для расчета годовой продукции фитопланктона всего моря в целом. Примечательно, что под «развитием фитопланктона» Ю.И. Сорокин понимал изменение его биомассы, но не первичной продукции, что не одно и тоже. Кроме того, более де-

тальные исследования как в глубоководных районах Черного моря [11, 25], так и на его шельфе [25], не подтвердили предположения о внутригодовой динамике фитопланктона с осенним максимумом в октябре и летним минимумом в августе. Внутригодовая динамика первичной продукции в разных районах Черного моря, включая и глубоководную часть, характеризовалась большим разнообразием, чем предполагал Ю.И. Сорокин. Более того, она существенно отличалась от динамики биомассы фитопланктона.

В дальнейшем Ю.И. Сорокин добавил к собственным данным 1960 г. данные З.З. Финенко за сентябрь 1964 г. [26] и Т.М. Кондратьевой за август 1978 г. [27], которые, по его же мнению, достаточно хорошо совпадали с его данными за август и октябрь 1960 г. [18]. Вероятнее всего, это не должно было в принципе существенно изменить результат оценки годовой первичной продукции для периода 1960-х–1970-х гг. по сравнению с 1960-м г. Однако, в данном случае, в свои расчеты Ю.И. Сорокин ввел коэффициент 1,5 для всех данных по суточной первичной продукции, обосновывая это тем, что «съемки 1960 г. были выполнены в условиях, когда уровень развития фитопланктона был почти в 2-3 раза ниже среднего многолетнего» ([18], стр. 75). При этом ссылка была сделана им на данные Т.М. Кондратьевой [28], которая проводила сравнение биомассы фитопланктона (но не первичной продукции!) только для западной халистатики, и полученных только в сентябре 1960 г., июле и ноябре 1957 г. Очевидно, что данные одного месяца 1960-го и двух месяцев 1957-го года, вряд ли могли отражать как многолетние изменения, так и внутригодовую динамику биомассы фитопланктона и первичной продукции. В результате введения в расчеты коэффициента 1,5, величина годовой первичной продукции всего Черного моря для периода 1960-х–1970-х гг. оказалась в 2 раза выше чем для 1960-го г. (220 и $110 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, соответственно).

Совершенно другой вывод об изменении годовой первичной продукции в Черном море в течение 1960-х–1980-х гг. можно сделать, если сравнить результаты оценок, выполненных З.З. Финенко [19] и З.З. Финенко и Д.К. Крупаткиной [20] по изменениям первичной продукции в глубо-

ководных районах моря соответственно в 1960-х гг. и в 1988 г. По этим оценкам увеличение годовой продукции фитопланктона во второй половине 1980-х гг. по сравнению с 1960-ми гг. в этой части Черного моря составило приблизительно 3-4 раза (табл.). Следует отметить, что в своих ранних оценках годовой первичной продукции З.З. Финенко также был вынужден использовать некоторые допущения, из-за отсутствия необходимых данных по внутригодовой динамике суточной первичной продукции для глубоководных районов Черного моря.

Так, по определениям первичной продукции в теплое время года (с мая по октябрь) в 1961 и 1962 гг. в центре западной халистатики [29], им была рассчитана интегральная продукция фитопланктона для этого интервала, которая составила $23,9 \text{ г С м}^{-2}$ [19]. Сделав предположение об аналогии внутригодовой динамики первичной продукции в глубоководных районах моря и в неритической зоне (10 миль от берега в районе г. Севастополя), где она была изучена в большей степени [26], и, приняв, что в этой зоне с мая по октябрь синтезируется около 60% годовой первичной продукции, З.З. Финенко сделал ее оценку для западной халистатической зоны для 1960-х гг.: $40 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$ [19]. Однако, более поздние и более детальные определения первичной продукции в течение всего годового цикла в западной халистатике показали совершенно другую картину ее внутригодовой динамики в этой части Черного моря, чем были получены для неритической зоны. Отличия касались, главным образом, наиболее продуктивного периода зимне-весеннего цветения диатомовых водорослей [11, 20, 25]. Очевидно, эти отличия в данных для зимне-весеннего периода могли привести к заниженной оценке годовой продукции фитопланктона глубоководной части моря для 1960-х гг.

Для оценки годовой первичной продукции уже в более поздний период, З.З. Финенко и Д.К. Крупаткина использовали измерения первичной продукции в западной половине Черного моря в холодное время года (январь и март 1988 г.) [20]. По их оценкам, суммарная величина первичной продукции только с января по март в открытых водах западной части моря составила $\sim 50 \text{ г С м}^{-2}$. Сравнение получен-

ного результата с имеющимися литературными данными дало им основание утверждать, что в глубоководной части Черного моря «уровень первичной продукции в зимне-весенний период в 5-10 раз выше по сравнению с другими сезонами года», а также сделать предположение, что «с января по март синтезируется около 30-40% от годовой продукции и тогда в глубоководных районах моря она должна составить 120-170 г С м⁻² год⁻¹.» [20].

Следующая оценка годовой продукции фитопланктона для различных районов и всего Черного моря в целом была сделана З.З. Финенко и соавторами для периода 1998-2004 гг. с использованием спутниковых данных по хлорофиллу *a* и разработанной ими региональной модели для расчета первичной продукции Черного моря [21]. Полученное с использованием модели значение годовой первичной продукции для глубоководного района в западной части моря (район 1) в среднем для 1998-2004 гг. несколько превышало оценку, сделанную З.З. Финенко и Д.К. Крупаткиной по прямым измерениям первичной продукции для этой же части моря для второй половины 1980-х гг.: 170±44 и 120-170 (в среднем 145) г С м⁻² год⁻¹, соответственно в [21] и [20]. В то же время, полученное значение суммарной годовой продукции фитопланктона для всего Черного моря для современного периода (0.08 млрд. т С год⁻¹) авторы сравнили прежде всего с данными В.Г. Дацко для 1950-х гг., полученных альгологическим методом [14], отметив их полное совпадение.

Таким образом, анализ опубликованных оценок годовой первичной продукции в Черном море для разных межгодовых периодов выявил существенные детали ее оценки в дозвройфикационный период (50-е-60-е гг.), а именно, то, что как низкие (40 г С м⁻² год⁻¹ в [19]), так и очень высокие (к примеру, 240 г С м⁻² год⁻¹ в [15] или 220 г С м⁻² год⁻¹ в [18]) оценки были сделаны при недостатке данных для того периода времени. Сделанные авторами различные допущения относительно как внутри-, так и межгодовой динамики первичной продукции не нашли подтверждения в более поздних исследованиях и, скорее всего, полученные результаты оценки годовой первичной продукции для этого периода не

могут считаться достоверными. Особенно это касается высоких значений годовой первичной продукции для 1950-х и 1960-х гг., которые оказались того же порядка, что и значения 1980-х и 1990-х гг. и поэтому свидетельствовали об отсутствии эвтрофикации глубоководных районов и увеличения трофического статуса всего Черного моря во второй половине XX столетия, которые в это же время имели место, к примеру, на Балтике [3].

Многолетние изменения индикаторов эвтрофикации в глубоководной части Черного моря. В отличие от оценок годовой первичной продукции, исследования многолетних изменений различных индикаторов эвтрофикации Черного моря отчетливо показали развитие процесса в глубоководной части моря в 1970-е-1980-е гг., подобно тому, что было получено для его шельфа [7, 8, 10, 11, 22]. При этом, для лета 1950-х-1960-х гг. были характерны низкие биомассы фитопланктона (менее 2.5 г С м⁻² в слое 0-100 м, [7]) и концентрации хлорофилла *a* (~0.1 и 0.35 мг м⁻³, соответственно в поверхностном слое и в глубинном максимуме, [10, 11]). Величины суточной первичной продукции в столбе воды, полученные З.З. Финенко [29], В.И. Ведерниковым [22] и Ю.И. Сорокиным [16]), составляли соответственно 60-90, 138-150, 50-200 мг С м⁻² день⁻¹. Концентрация нитратов в их глубинном максимуме (~2 мМ, [14, 18]) и большая глубина видимости диска Секки (более 20 м, [10]) также косвенно свидетельствовали о низкой трофности. К сожалению, по фитопланктонным характеристикам отсутствовали данные для зимне-весеннего цветения приблизительно до середины 1980-х гг. [20, 30]. Однако, учитывая особенности физической и химической структур глубоководной части Черного моря в 1950-е-1960-е гг. [6, 10], с большой степенью вероятности можно считать, что и концентрация хлорофилла *a*, и биомасса фитопланктона, и величина суточной первичной продукции в зимнее время этого периода тоже были низкими. Таким образом, приведенные выше данные указывают на олиготрофность глубоководных районов Черного моря в 1950-е-1960-е гг. Если руководствоваться общепринятой современной градацией трофности внут-

ренных морей [3], то годовая первичная продукция в этот период должна была быть менее $100 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, а никак не $180\text{--}240 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, как приводят В.Г. Дацко и Ю.И. Сорокин (табл.).

Начиная с 70-х гг. XX столетия черноморская экосистема подверглась воздействию многочисленных антропогенных и климатических факторов, которые существенным образом изменили физическую и химическую структуры в глубоководной части моря [6, 31, 32]. Изменилась и интенсивность физико-динамических процессов в этой части моря, таких как циркуляционная динамика поверхностных и перемешивание поверхностных и глубинных вод, которые являются важнейшими факторами, влияющими на биологическую продуктивность в море [33, 34, 35]. Естественно, что эти изменения не могли не повлиять на интенсивность первично-продукционного процесса, на величины фитопланктона, химических и биооптических характеристик, а следовательно, на величины годовой первичной продукции в глубоководной части Черного моря. Так, значительное поступление биогенных веществ со стоком рек в Черное море в 1970-е–1980-е гг. [5, 12] привело к увеличению концентрации нитратов в их глубинном максимуме более чем в 4 раза [6, 10]. В это же время, климатические изменения в черноморском бассейне, связанные с изменениями интенсивности испарения и выпадения осадков, истока рек и изменениями в водообмене между Черным и другими морями, привели к значительному подъему основного пикноклина [36]. Это в свою очередь способствовало подъему глубинного максимума нитратов к середине 1980-х гг. в среднем на 50-70 м [10]. Происшедшие изменения в профиле нитратов стимулировали увеличение первичной продукции в глубоководной части моря в период зимне-весеннего цветения диатомовых водорослей (если судить по изменению вертикального распределения кислорода и силикатов в этой части моря) [6, 10]. Дальнейшие (с середины 1980-х до начала 1990-х гг.) изменения в метеоусловиях региона (ряд очень холодных зим) привели к увеличению активности Основного Черноморского Течения (ОЧТ) и последовавшей интенсификации вертикальных потоков в течение всего годового цикла [6]. Это, в свою очередь,

способствовало увеличению поступления нитратов из глубины через Холодный Промежуточный Слой (ХПС) в эвфотический слой в летние месяцы этого периода вследствие усиления турбулентной и адвективной составляющих в общем потоке нитратов [10]. В результате, увеличение годовой первичной продукции с середины 1980-х до начала 1990-х гг. в глубоководной части моря происходило уже как за счет увеличения зимних, так и летних величин. Об этом свидетельствует увеличение концентрации хлорофилла *a* в период зимне-весеннего цветения фитопланктона и, особенно, значительное увеличение летнего хлорофилла *a* как в поверхностном слое, так и в его глубинном максимуме с 1987 по 1992 гг. [10, 11]. Более того, определение летней суточной первичной продукции для этого периода обеими модификациями ^{14}C метода в глубоководной части моря показало значительно большие ее величины (363 ± 125 и $587\pm135 \text{ мг С м}^{-2} \text{ день}^{-1}$, соответственно для *in situ* и симуляционной *in situ* модификации, [10]), чем были получены для 1960-х годов. ($50\text{--}200 \text{ мг С м}^{-2} \text{ день}^{-1}$, [16, 22, 26]).

Суммируя вышесказанное, можно сделать вывод, что оценка годовой первичной продукции по прямым измерениям и с учетом ее сезонной динамики для глубоководной части Черного моря во второй половине 1980-х гг. ($120\text{--}170 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$) [20], не могли быть ниже, чем величины годовой продукции 1950-х–1960-х гг. В данном случае это означает, что $180\text{--}240 \text{ г С м}^{-2} \text{ год}^{-1}$, величины, которые приводятся для 1950-х–1960-х гг. (табл.) не согласуются с теми изменениями в черноморской экосистеме пелагиали, которые произошли под воздействием антропогенных и климатических факторов во второй половине XX столетия и которые широко обсуждаются в научной литературе [13, 31, 37, 38, 39].

Заключение. Анализ литературных данных показал, что в отличие от наиболее распространенных индикаторов эвтрофикации таких как концентрация хлорофилла *a*, биомасса фитопланктона, концентрация биогенных веществ и кислорода, глубина видимости диска Секки, оценки годовой первичной продукции Черного моря для периода с 1950-х–1960-х гг. по настоящее время являются фрагментарными, выполненные с использованием разных мето-

дов, без учета сезонных и межгодовых особенностей, с привлечением ряда ошибочных допущений. Оценки 1950-х–1960-х гг., в силу методического несовершенства слишком высоки для дозвротрофикационного периода и противоречат логике хорошо описанных для Черного моря процессов, связанных с развитием антропогенной эвтрофикации в 1970-х–1980-х гг. Наиболее достоверными представляются данные для второй половины 1980-х гг., полученные по прямым измерениям первичной продукции и с учетом ее сезонных особенностей в глубоководной части Черного моря. В то же время, из-за отсутствия прямых измерений, современная оценка годовой первичной продукции базируется на модельных расчетах и спутниковом хлорофилле *a*. Однако полученные по региональной модели величины годовой продукции фитопланктона глубоководной части моря для периода 1998–2004 гг. оказались того же порядка или выше по сравнению с оценками для второй половины 1980-х гг., периода интенсивной эвтрофикации. Вместе с тем, современные данные по различным индикаторам эвтрофикации указывают на ослабление этого явления в Черном море с середины 1990-х гг. Таким образом, очевидно, что достоверно оценить многолетнюю динамику трофического статуса Черного моря для второй половины XX столетия, когда наблюдались ярко выраженные антропогенные и климатические воздействия на его экосистему, по имеющимся литературным данным проблематично.

Л и т е р а т у р а

1. Nixon S.W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns // *Ophelia*. – 1995. – 41. – P. 199–219.
2. Cloern J.E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – 2001. – 210. – P. 223–253.
3. Wasmund N., Andrushatis, A., Lysiak-Pastuszak, E., et al. Trophic status of the south-eastern Baltic Sea: a comparison of coastal and open areas // *Estuar. Coas. Shelf Sci.* – 2001. – 53. – P. 849–864.
4. Bodeanu N., Moncheva S., Ruta G., et al. Long-term evolution of the algal blooms in Romanian and Bulgarian Black Sea waters // *Cercetari marine*. – 1998. – 31. – P. 37–55.
5. Cociasu A., Dorogan L., Humborg C., et al. Long-term ecological changes in Romanian coastal waters of the Black Sea // *Mar. Pollut. Bull.* – 1996. – 32. – P. 32–38.
6. Konovalov S.K., Murray J.W. Variations in the chemistry of the Black Sea on a time scale of decades (1960–1995) // *J. Mar. Syst.* – 2001. – 31. – P. 217–243.
7. Mikaelyan A.S. Long-time variability in phytoplankton communities in the open waters of the Black Sea related to environmental changes // *Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1996. – P. 105–116.
8. Vladimirov V.L., Mankovsky V.I., Solovev M.V., et al. Seasonal and long-term variability of the Black Sea optical parameters / *Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1997. – P. 33–48.
9. Yunev O.A., Carstensen J., Moncheva S., et al. Nutrient and phytoplankton trends on the western Black Sea shelf in response to cultural eutrophication and climate changes // *Estuar. Coas. Shelf Sci.* – 2007. – 74. – P. 63–76.
10. Yunev O.A., Moncheva S., Carstensen J. Long-term variability of vertical chlorophyll *a* and nitrate profiles in the open Black Sea: eutrophication and climate change // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – 2005. – 294. – P. 95–107.
11. Yunev O.A., Vedernikov V.I., Basturk O., et al. Long-term variations of surface chlorophyll *a* and primary production in the open Black Sea // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* – 2002. – 230. – P. 11–28.
12. Mee L. The Black Sea in crisis: call for concerned international action // *Ambio*. – 1992. – 21. – P. 278–286.
13. Заика В.Е. О трофическом статусе пелагических экосистем в разных регионах Черного моря // МЭЖ. – 2003. – Т. 2. – С. 5–11.
14. Дацко В.Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. – М: АН СССР, 1959. – 271 с.
15. Sorokin Yu.I. The Black Sea. Ecology and Oceanography. – Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 2002. – 875 p.
16. Сорокин Ю.И. Продукция фотосинтеза фитопланктона в Черном море // Докл. АН СССР. – 1962. – 144. – С. 914–917.

17. Сорокин Ю.И. Продукция фотосинтеза фитопланктона в Черном море // Изв. АН СССР. – 1964. – №5. – С. 749–759.
18. Сорокин Ю.И. Черное море. М: Наука. – 1982. – 217с.
19. Финенко З.З. Продукция фитопланктона // Основы биологической продуктивности Черного моря. – Киев: Наук. Думка. – 1979. – С. 88–99.
20. Финенко З.З., Крупаткина Д.К. Первичная продукция в Черном море в зимне-весенний период // Океанология. – 1993. – 33, № 1. – С. 94–104.
21. Финенко З.З., Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Региональная модель для расчета первичной продукции Черного моря с использованием данных спутникового сканера цвета SeaWiFS // МЭЖ. – 2009. – Т. 8. – С. 81–106.
22. Веденников В.И., Демидов А.Б. Первичная продукция и хлорофилл в глубоководных районах Черного моря // Океанология. – 1993. – 33, № 2. – С. 229–235.
23. Веденников В.И., Демидов А.Б. Вертикальное распределение первичной продукции и хлорофилла в различные сезоны в глубоководных районах Черного моря // Океанология. – 1997. – 37, № 3. – С. 414–423.
24. Демидов А.Б. Сезонная изменчивость и оценка годовых величин первичной продукции фитопланктона Черного моря // Океанология. – 2008. – 48, №5. – С. 718–733.
25. Stelmakh L.V., Yunev O.A., Finenko Z.Z et al. Peculiarities of seasonal variability of primary production in the Black Sea // Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1998. – 1. – P. 93–104.
26. Финенко З.З. Первичная продукция в южных морях // Вопросы биоокеанографии. Киев: Наук. думка. – 1967. – С. 69–74.
27. Кондратьева Т.М. Первичная продукция фитопланктона Черного моря // Комплексные исследования Черного моря. — Севастополь: МГИ АН УССР. – 1979. – С. 151–161.
28. Кондратьева Т.М. О суточной продукции фитопланктона в Черном море // Биологические исследования Черного моря и его промысловых ресурсов. – 1968. – М. – С. 39–43.
29. Финенко З.З. Первичная продукция в Черном, Азовском морях и тропической части Атлантического океана // Диссертация канд. биол. наук, Белорусский гос. университет, Минск. – 1966. – 180 с.
30. Юнев О.А. Пространственное распределение хлорофилла “а” и феофитина “а” в западной части Черного моря в зимний период // Океанология. – 1989. – 29, № 3. – С. 480–485.
31. Besiktepe S.T., Unluata U., Bologna A.S. (Eds.). Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1999. – 393 p.
32. Konovalov S.K., Ivanov L.I., Murray J.W., et al. Eutrophication: a plausible cause for changes in hydrochemical structure of the Black Sea anoxic layer // Environmental degradation of the Black Sea: challenges and remedies. - Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1999. – P. 61–74.
33. Cokacar T., Ozsoy E. Comparative analyses and modelling for regional ecosystems of the Black Sea // Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea. - Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1998. – 2. – P. 323–357.
34. Sur H., Ozsoy E., Ilyin Y.P., et al. Coastal/deep interactions in the Black Sea and their ecological/environmental impacts // J. Mar. Syst. – 1996. – 7. – P. 293–320.
35. Sur H., Ozsoy E., Unluata U. Boundary current instabilities, upwelling, shelf mixing and eutrophication processes in the Black Sea // Progr. Oceanogr. – 1994. – 33. – P. 249–302.
36. Konovalov S.K., Eremeev V.N., Suvorov A.M., et al. Climatic and anthropogenic variations in the sulfide distribution in the Black Sea. Aquatic Geochem. – 1999. – 5. – P. 13–27.
37. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Mikaelyan A.S., et al. Temporal (seasonal and interannual) changes of ecosystem of the open waters of the Black Sea // Environmental degradation of the Black Sea: challenges and remedies. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1999. – P. 109–129.
38. Ivanov L., Oguz T. (Eds) Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1998. – 1, 2.
39. Ozsoy E., Mikaelyan A.. (Eds.) Sensitivity to change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea. – Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. – 1996. – 382 p.