

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КРИТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ЧЕРНОГО МОРЯ:
СИНТЕЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ДВУХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ
С СЕРЕДИНЫ XX ДО НАЧАЛА XXI ВЕКОВ**

© Ю. П. Зайцев¹, Г. Г. Поликарпов², 2002

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной Академия наук Украины:

¹ Отдел гидробиологии активных зон моря Одесского филиала, Одесса, Украина

² Отдел радиационной и химической биологии ИнБЮМ, Севастополь, Украина

Поступила 8 августа 2002 г.

Сделано обобщение, основанное на выдвинутых и развитых авторами представлениях за период с конца 1950-х по 2002 гг. в области морской нейстонологии, учения о контурных биотопах и сообществах в Черном море, радиоэкологии морских организмов, радиохемозологии и молисмологии Черного моря, а также на результатах применения новейших технологий (радиотраассерных, глубоководных в сероводородной зоне и других методов) и концептуальной модели хронического действия ядерных и неядерных факторов во всем возможном диапазоне их доз на черноморские экосистемы и на их живые компоненты. Представлена картина состояния экосистем и протекания экологических процессов в Черном море с учетом молисмологических факторов. Сформулированы рекомендации и прогнозы в отношении судьбы экологически критических зон этого моря.

Ключевые слова: Черное море, радиоэкология, радиохемозология, молисмология, прогноз.

The presented generalization is based on proposed and developed of the authors - Yuvenaly P. Zaitsev and Gennady G. Polikarpov - ideas in the period from the late 1950s to the 2002 in the fields of marine neustonology, the conception of contour (marginal) habitats and communities in the Black Sea, radiochemoecology and molismology of the Black Sea as well as on results of use of advanced technologies (radiotracers, deep-sea devices in the hydrogen sulphide zone and other technics) and the conceptual model of chronical effects of nuclear and non-nuclear factors in all possible diapason of their doses upon the Black Sea ecosystems and their living components. A picture of the ecosystems state and development of ecological processes in the Black Sea is given with account of molismological factors. Forecasts and recommendations are formulated with regard to the fate of ecologically critical zones ("hot spots") of this sea.

Key words: the Black Sea, radioecology, radiochemoecology, molismology, ecosystems, forecasts.

Во второй половине 50-х годов 20-го столетия были опубликованы первые работы авторов этой статьи [14, 37, 38], положившие начало соответственно: а) - исследованиям морского нейстона [15], морской нейстонологии [16, 91], учению о маргинальных экотонах и контуробионтах [92, 93], созданию сводок о хроническом падении биоразнообразия в Черном море [19, 95, 97], и б) - морской радиоэкологии [39, 41, 42, 46, 78, 79], радиационной и химической экологии гидробионтов [47], хеморадиоэкологии пелагиали и бентали [48], молисмологии Черного моря [49], концептуальной модели зональности хронического действия ядерных и неядерных загрязнений [80, 82, 83, 84, 85].

Оба направления с конца 1950-х годов и до настоящего времени постоянно взаимодействуют, а их представители систематически соавторствуют, формируя радиоэкологию гипонейстона [20, 56], формулируя стратегию поиска в морской биологии [57] и новые проблемы биологии океана [21], работая совместно в морских экспедициях [58, 87], создавая сводные материалы, подготавливая совместно с большим коллективом ученых разных стран Долгосрочную Международную программу исследований по проблеме "Взаимодействие между водой и живым веществом", проведя по ней одноименный Международный Симпозиум в Одессе 6 - 10 октября 1975 г. [17, 45, 88], а также создавая сводки и обобщения с использованием материалов партнерского направления [16, 18, 19, 44, 47, 49, 79, 84 и др.].

Над разработкой названной области исследований трудятся большие коллективы подготовленных нами специалистов со степенью доктора и кандидата наук в подразделениях ИнБЮМ НАН Украины - в Севастополе и Одессе. Объем данной статьи ограничивает перечень цитируемых ученых, занятых непосредственно этой проблематикой. Отметим также, что многие аспиранты и соискатели из Украины, Беларуси, России, Литвы, Латвии и Азербайджана выполнили под нашим руководством диссертации и получили ученые степени.

В Одесском филиале ИнБЮМ такие исследования проводятся: Л. В. Воробьевой [6, 7]; Г. Г. Миничевой [31, 32, 33]; Б. Г. Александровым [1, 2, 3]. Работами Л. В. Воробьевой по изучению мейобентоса псаммоконтура Черного моря показана важная роль этой группы донных организмов в биологии краевых (контурных) сообществ и уязвимость их популяций по отношению к различным видам антропогенного воздействия на песчаную псевдолитораль и супралитораль. Так, изменение гранулометрического состава песка пляжей путем замены крупнозернистого песка мелкозернистым или заиливание пляжа приводит к резкому обеднению интерстициальной мейофауны и адекватному снижению процессов самоочищения пляжей и кондиционирования природной среды в прибрежной полосе моря.

Исследование реакции водорослей-макрофитов на антропогенную эвтрофикацию

моря позволило Г.Г. Миничевой сформулировать правила изменения макрофитоценозов в этих условиях и диагностировать трофосапробиологическое состояние прибрежных экосистем путем использования индексов поверхности талломов бентических водорослей.

Разрабатывая научные основы управления качеством водной среды в прибрежной зоне моря, Б. Г. Александров доказал, что создание дополнительных поверхностей литоконтура в виде гидротехнических конструкций, способных обеспечить успешное развитие биоценозов гидробионтов-обрастателей, приводит к интенсификации процесса биологического очищения толщи воды и дна. Такие конструкции в виде искусственных рифов особенно эффективны на песчаных мелководьях вблизи побережья.

В отделе радиационной и химической биологии ИнБЮМ наибольший вклад в рассматриваемый здесь круг исследований сделан В. Н. Егоровым [11, 12, 13, 52, 71 и др.], В. Г. Цыцугиной [62, 66, 89 и др.], Г. Е. Лазоренко [27, 28, 29, 30], С. Б. Гулиным [8, 9, 10, 72]. Содержание этих и других работ излагается ниже в соответствующих разделах статьи.

Оценивая ранние, 1960-х годов, радиоэкологические работы на Черном море [73, 78, 79], Ааркрог писал "In 1985 IAEA [26] made a compilation of concentration factors for radionuclides in the marine environment. Today it is amazing to see how well some early estimates of these factors (at that time they were called coefficients of accumulation) agreed with IAEA's rec-

ommended values. Polikarpov [27] made such early experimental studies on the uptake of ^{90}Sr , ^{137}Cs and ^{144}Ce by various marine algae and shellfish from the Black Sea and his values are, in general, close to the recommendations adopted 25 years later" [67, p. 26].

Специфика Черного моря; загрязнения и трассеры. В силу своих физико-географических особенностей, внутренние моря отличаются большой степенью зависимости от окружающего их водосборного бассейна на суше. В этом отношении. Черное море представляет яркий пример [22]. Площадь его водосборного бассейна превышает 2 млн. км² и охватывает полностью либо частично территории 20 государств в Европе и Малой Азии. По этой суше протекают более 300 впадающих в море рек, в том числе, крупные реки - Дунай, Днепр, Днестр, Ешиль-Ирмак. На ней расположены большие города, находятся промышленные центры, регионы интенсивного земледелия и транспорта. Влияние водосборного бассейна сказывается наиболее заметно в северо-западной части Черного моря (СЗЧМ), где находится его главный, северо-западный шельф (СЗШ), площадью около 64 тыс км², примыкающий к берегам Украины, Румынии и, в меньшей степени, Болгарии. В СЗЧМ вливаются Дунай, Днестр, Днепр и Южный Буг. Общая водосборная площадь этих рек достигает 1 млн 460 тыс км², а удельный водосбор для СЗЧМ составляет около 21.0 [98]. Это означает, что на один квадратный метр поверхности моря приходится почти 22 квадратных

метра водосборной площади суши, откуда в море через речные системы поступают следы материальной деятельности людей, попавшие в окружающую среду с жидкими стоками, твердыми отходами и атмосферными осадками. Если учитывать то обстоятельство, что на этой водосборной площади проживают до 200 млн. человек, расположены большие города, в том числе, столицы 10 государств, то причина интенсивного антропогенного давления на СЗЧМ становится вполне очевидной. Видов и форм воздействия человека на Черное море, как и на другие водоемы, известно множество. В данной работе рассматриваются те из них, которые связаны с загрязнением моря радиоактивными и химическими веществами. Именно эти воздействия отражают современный этап технического развития общества за последние полвека, особенно в Украине, где насыщенность атомной энергетикой и химическими производствами - одна из наиболее высоких в Европе.

Под радиоактивным загрязнением экосистем, относящимся к сфере изучения радиоэкологии [40, 42, 53, 78, 79, 81, 84, 85], мы понимаем появление в абиотической среде и в биотических компонентах экосистем отсутствовавших в них в доядерную эпоху антропогенных радионуклидов или повышенное над природным содержание естественных радионуклидов в связи с промышленной деятельностью. Яркий пример этому - поступление и перенос повышенных концентраций ^{90}Sr после аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986

г. по Днепровскому каскаду в Черное море и далее в Эгейское море [61, 71, 86]. Радиоактивные примеси в морской среде изучаются как мигрирующие объекты [53] и как источники ионизирующего облучения гидробионтов [89], а также рассматриваются, в частности, как радиоактивные трассеры морских течений [11]. Более того, естественные радиоэлементы помогают определять возраст слоев донных отложений Черного моря и, следовательно, время поступления в них искусственных радионуклидов и химических загрязнений [9]. Радионуклиды широко используются также для радиоактивного мечения химических веществ - как питательных, так и загрязняющих [11, 30].

Химическое загрязнение, изучаемое хемозоологией, экотоксикологией и молисмологией [49], происходит в результате внесения в море различных минеральных и органических веществ, родственных или тождественных веществам, уже существующим в море, а также не существовавших в море до этого, но созданных человеком и сознательно либо случайно внесенных им в морскую среду. К первой группе химических веществ относятся минеральные и органические соединения азота, фосфора, кремния и др., ко второй - пестициды, препараты бытовой химии, лекарственные средства и др. Загрязняющие вещества любой природы воздействуют на морскую биоту неодинаково. Существуют гидробионты и биоценозы в разной степени подверженные влиянию поллютантов, причем, связано это, как с особенностями

физиологии и биохимии отдельных видов (напр., с различными коэффициентами накопления, присущими разным видам, их органам и тканям), так и пространственным расположением и другими особенностями биотопа, заселенного популяцией или биоценозом.

Имея в виду последнее обстоятельство, особое внимание уделялось контурным биотопам моря [92, 93], где наблюдаются устойчивые скопления адаптированных к этим специфическим биотопам гидробионтов и где в силу физико-химических процессов концентрируются многие вещества-загрязнители. В числе химических веществ, вызвавших наиболее глубокие изменения в биоте Черного моря и его экосистеме в целом, фигурируют минеральные и органические соединения азота и фосфора. Возросший приток этих веществ в Черное море, совпавший по времени с бурным развитием в водосборном бассейне "зеленой революции" и отраслей промышленности, генерирующих в качестве отходов различные биогенные вещества [97], стал основной причиной антропогенной эвтрофикации моря. Раньше, чем в других местах и наиболее интенсивно этот процесс получил развитие в СЗЧМ, где был всесторонне исследован специалистами Одесского филиала ИнБЮМ [18]. Молекулярно-экологические и динамические механизмы усвоения и переноса фосфатов по пищевым уровням изучены с помощью радиоактивных меток ^{32}P и ^{33}P в ИнБЮМ в Севастополе [64]. Там же в экспедиционных условиях изучали природную эвтрофикацию ки-

слородного слоя Черного моря при поступлении в этот слой глубинных сероводородных вод, весьма богатых биогенными веществами [30]. В результате было также обнаружено отсутствие ожидавшейся токсичности, например, для планктонных водорослей, глубинных (до двух км) вод Черного моря после окисления в них сероводорода при контакте с атмосферой воздуха [51].

Напротив, глубинная черноморская сероводородная вода оказалась идеально природно сбалансированной питательной средой для автотрофных морских организмов, не уступающей и даже превосходящей искусственные питательные среды, например, среду Гольдберга [60]. Не отмечено мутагенного и токсического влияния аэрированной глубинной воды Черного моря на эмбрионы ракообразных и рыб [51].

Контурные сообщества в Черном море и их уязвимость.

Море - атмосфера: аэроконтур. Изменения, происходящие в водной экосистеме, особенно заметны в контурных биотопах, расположенных на границах моря с атмосферой, берегом, реками и дном [92, 93]. Известно, что в тонкой поверхностной пленке толщиной менее 1 мм (верхняя часть аэроконтур моря), концентрируются многие вещества с гидрофобными и поверхностно-активными свойствами: соединения азота и фосфора, протеины, пестициды, ряд физико-химических форм тяжелых металлов и радионуклидов [20, 43, 44]. При этом морская пена, как ячеисто-

пленочный концентрат органических, других поверхностно-активных частиц, всплывающих из толщи воды и выпадающих из атмосферы веществ, может содержать на многие порядки величин больше таких токсикантов, чем сам обогащенный ими поверхностный слой, в свою очередь, по сравнению с водной толщей. Известно, что загрязняющие химические и радиоактивные вещества, инжесктированные в атмосферу промышленными предприятиями, а также образующиеся при испытаниях и авариях, оседают из нее с разными полупериодами на земную, в том числе и особенно, на водную поверхность [16, 41].

Сообщество одноклеточных и многоклеточных организмов нейстона из приповерхностного слоя пелагиали 0-5 см, состоящее из двух ярусов: нижнего (гипонейстон) и верхнего (эпинеистон) эволюционно возникло задолго до образования здесь зоны экологического риска. Морской нейстон это - средоточие многих видов растений и животных, особенно ранних стадий онтогенеза, для развития которых обилие в нейстале пищи, кислорода, присутствие широкого спектра инфракрасных и ультрафиолетовых лучей и другие природные условия были особенно благоприятными. Этим объясняется исключительная роль нейстона в естественном воспроизводстве сотен видов беспозвоночных животных и рыб [16]. Появление и аккумуляция в этом биотопе биоцидных веществ антропогенного происхождения и поступавших в нейсталь из водной толщи, со стороны берега и из атмосферы,

создало на аэроконтуре морей и океанов одну из наиболее острых экологических проблем в современной галосфере Земли. Это связано, в первую очередь, с сосредоточением в нейстале ранних стадий онтогенеза организмов, наиболее чувствительных к негативным внешним воздействиям, а также со способностью многих нейстонтов накапливать в своих органах и тканях различные токсины [20].

Судьба нейстона Черного моря весьма показательна в этом отношении. Начиная с 1970-х гг., многие типичные представители гипонейстона проявили отчетливую тенденцию к снижению численности популяций. Резко сократилась численность всех представителей Pontellidae, а на большей части СЗЧМ эти веслоногие ракообразные, практически, исчезли [63]. На 1 - 2 порядка величин сократилась численность гипонейстонной идотеи (*Idothea ostroumovi* Sowinskyi, 1895) и личиночных стадий (зоае и мегалопа) всех видов крабов. На порядок величин уменьшилось количество гипонейстонных личинок и мальков всех видов кефалей (*Mugilidae*), саргана (*Belone belone euxini* Gunther, 1866), морского языка (*Solea nasuta* (Pallas, 1811)), султанки (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927). Показательно, что большинство названных видов, имеющих в онтогенезе нейстонные стадии развития, по состоянию их популяций в 1990-е гг., занесены в Красную книгу Черного моря [69].

Море - река: потамоконтур. Благодаря конвергентным течениям, в контурном биото-

пе, где морские воды контактируют и взаимодействуют с речными (потамоконтур моря), происходит сосредоточение существ и веществ из поверхности пелагиали. Это - организмы нейстона и приповерхностного планктона, пена, плавающие обрывки водорослей, листья zostеры, семена растений, наземные насекомые и многое другое. С другой стороны, из устьев рек поступают разнообразные промышленные, сельскохозяйственные и муниципальные стоки, в том числе аварийные, как это было с 1986 г из Днепра после аварии на Чернобыльской АЭС [61, 71]. Этот биотоп служит буферной зоной, в которой концентрируются в виде взвесей и осадка в донных отложениях многие химически трансформированные соединения токсикантов, включая различные радионуклиды.

Облов нейстонной сетью узкой полосы потамоконтур (его обычно называют гидрофронтом) приносит интересный материал для биологов, по которому можно судить о состоянии морской нейстали и самого нейстона, а также о том, сколь благоприятно или неблагоприятно влияет сток соответствующей реки на население потамоконтур. Например, на потамоконтуре Дуная на широте о. Змеиногор, 11 сентября 1963 г. на отрезке гидрофронта шириною 1 м и длиной 2 м были обнаружены следующие организмы нейстона: *Pontella mediterranea* Claus, 1863 - 117760 экз., *I. ostroumovi* - 36, личинки креветок и крабов - 43 экз., мальки остроноса (*Liza saliens* (Risso, 1810), мальки лобана (*Mugil cephalus* L., 1758)

- 2 экз. [16]. В 1970 - 1980-х гг. облов участков такой же протяженности на потамоконтуре Дуная обнаруживал многократно обедненную фауну. Так, число *P. mediterranea* колебалось в пределах 32 - 63 экз., *I. ostroumovi*, зоома и мегалопа крабов, *L. saliens*, *M. cephalus* - по 1 - 3 экз. Биологический мониторинг гидрофронт всех доступных на то время рек СССР от Дуная в Украине до Чорохи в Грузии повсеместно выявил аналогичную тенденцию обеднения видового состава и численности организмов.

Псаммоконтур. Граница "море - песчаный берег", как биотоп, представлена песчаными пляжами с их надводным (супралитораль), полуводным (псевдолитораль) и подводным (верхняя сублитораль) ярусами. Пески состоят, преимущественно, из кварцевых зерен, которые сравнительно слабо сорбируют многие вещества, включая радионуклиды, а также из алевритовых и глинистых частиц, отличающихся, напротив, высокой сорбционной способностью. Их микрораспределение в песке обуславливает неоднородность доз повреждающих факторов и, соответственно, их воздействия на псаммобионтов.

Биота псаммоконтур состоит из большого числа одноклеточных и многоклеточных видов растений и животных псаммона. Подавляющее большинство из них - морские виды, но встречаются также представители пресноводной (вблизи устьев рек) и наземной (почвенной) фауны и флоры. Некоторые организмы псаммона обитают на поверхности

супралиторали, например, прибрежная уховертка (*Labidura riparia* Pall.) и жук скакун прибрежный (*Cicindela hybrida* L.), но большинство из них живут в песке. При этом виды, размеры тела которых превышают величину межпесчиночных полостей, зарываясь, раздвигают песок (амфиподы, моллюски, полихеты), а мелкие организмы микро- и мейобентоса свободно обитают в межпесчиночных полостях, или интерстициях. Поэтому их называют еще интерстициальной фауной и флорой. Пища в экосистему псаммоконтура, в виде биогенных и органических веществ, а также живых организмов, поступает из моря в результате инфильтрации воды, деятельности волн и со стороны суши - с потоками речной и дождевой воды. По тем же каналам в псаммоконтур моря поступают поллютанты. При благоприятных условиях, численность и биомасса организмов псаммоконтура достигает больших значений. Например, еще в 1960-е гг. понтический реликт бокоплав *Pontogammarus maeoticus* (Sowinskyi, 1894) образовывал в псевдолиторапли СЗЧМ концентрации до 35000 экз.м⁻² [68], а в Азовском море до 173000 экз.м⁻² при биомассе 1-2 кг.м⁻² [36]. Двустворка *Donacilla cornea* (Poli, 1791) встречалась в количестве до 21700 экз.м⁻², а полихета *Ophelia bicomis* Savigny, 1820 до 5000 экз.м⁻² [24]. На загрязнение псаммоконтура, его обитатели отвечают сокращением видового разнообразия и изменением численности. В 1980-х гг. на северо-западном побережье моря практически не осталось больше

полихеты *O. bicornis*, а популяция *D. cornea* сократилась на порядок величин. В районе Одесского залива эти виды в настоящее время не встречаются.

Литоконтур. Вдоль каменистого побережья моря (литоконтура) тянутся скалы и галечные пляжи, которые, по своим физическим свойствам, в меньшей степени задерживают загрязняющие вещества, чем песчаные. Вода у таких берегов менее подвержена влиянию стока больших равнинных рек, а узкий шельф обеспечивает свободный водообмен с открытым морем, поэтому обеднение водного населения на литоконтуре не столь выражено, как на псаммоконтуре. Однако и здесь встречаются организмы, чувствительно реагирующие на загрязнение. Например, бурая водоросль *Cystoseira barbata* (Good. et Wood., 1797) в условиях повышения трофности воды исчезает вместе со "своим" биоценозом. В литературе имеются сведения о резком сокращении численности популяций моллюсков сем. Patellidae на импактных участках побережья. Черноморское блюдечко *Patella tarentina* Salts, 1793, похоже, не является в этом отношении исключением.

Места дампинга грунта и других свалок в сфере литоконтура представляют собой зоны экологической напряженности, кризиса и локальных катастроф различного масштаба в Черном море [88].

Пелоконтур в кислородной и сероводородной зонах. По своим физико-химическим особенностям эта самая крупная

граница "море - илистое дно" (пелоконтур) представляет собой специфический биотоп на дне Черного моря с частицами менее 0.01 мм. Она расположена в глубокой части шельфа и глубже в сфере как оксибионтной, так и аноксибионтной (бактериальной) форм жизни.

Важно подчеркнуть, что илистое дно Черного моря служит концентрирующей поверхностью, в особенности для химических и радиоактивных веществ, оседающих в виде коллоидов и частиц. С другой стороны, в приморских лиманах и лагунах пелоконтур также составляет большую часть дна и может начинаться уже от линии уреза воды. Питательные и загрязняющие вещества поступают в морской пелоконтур, преимущественно, сверху, из водной толщи (а также из нижележащих слоев сероводородной зоны, обогащенных биогенами), и с рыбами, которые мигрируют из мелководной зоны на зимовку. В лиманах и лагунах эти вещества поступают в пелоконтур, в основном, с берега. Биотоп населен организмами бентоса, адаптированными к его условиям. Именно на пелоконтуре моря, под слоем термоклина и до глубин 35-40 м, летом и осенью формируются зоны гипоксии и аноксии, в которых происходят заморы -массовая гибель донных беспозвоночных и рыб. Новые важные сведения об экологии глубоководной части пелоконтур Черного моря поступили, благодаря открытию на НИС "Профессор Водяницкий" в апреле 1989 г. газовых метановых сипов в сероводородной зоне [55, 54, 59]. В результате интенсивной деятельности хемо-

трофных бактерий в аноксической зоне в местах метановых выделений на дне этого моря образуются коралловидные арагонитовые постройки на основе углерода метана газовых сипов. В настоящее время ИнБЮМ продолжает активное участие в изучении запасов и экологической значимости мощных залежей газовых гидратов донных отложений Черного моря в национальных и международных экспедициях. Экологическое и молисмологическое значение газовых сипов и газовых гидратов для кислородной зоны представляет особый интерес в двух аспектах: их "средообразующая роль в море" и их "экологическая роль", в том числе потенциальный парниковый эффект для планеты Земля.

Экологическая эквидозиметрия всех видов загрязнений и форм техногенной деятельности. Экоцитогенетика гидробионтов. Для оценки радиоэкологической ситуации и прогноза развития последствий хронического действия ионизирующих излучений на экосистемы и их живые компоненты была предложена и развита концептуальная модель, охватывающая весь диапазон существующих и возможных мощностей доз на все уровни организации живой природы, которая основана на учете изменений в наиболее радиочувствительных структурах и функциях живых организмов и надорганизменных систем [80, 82]. Затем эта модель была распространена и на химические загрязнения на основе экоэквидозиметрии [83, 84]. В результате верификации материалов Ю. П. Зайцева [98] с упомянутой

выше моделью Г. Г. Поликарпова был оценен ущерб биологическим ресурсам Черного моря, причиненный ядерными и неядерными загрязнениями в эквивалентных дозах [84]. Получилась разительная картина: дозовые нагрузки ионизирующих излучений на черноморские организмы, к счастью, приходится на "Зону радиационного благополучия", а химические загрязнения и связанные с ними другие виды антропогенной деятельности в зонах экологического риска, к несчастью, вызывают в ряде мест настолько тяжелые последствия, что отдельные районы Черного моря относятся к "Зоне поражения экосистем" (при эквивалентных радиационным химическим дозах, превышающих 20-1000 Гр/год).

Ниже также приводятся обобщенные сведения об успехах в области экологической цитогенетики [62, 66], позволившие получить исходные данные об уровне и характере хромосомного мутагенеза в популяциях водных организмов разных таксонов в различных, в том числе наименее загрязненных, районах Мирового океана. Эти данные служат фундаментальной базой для изучения индуцированного хромосомного мутагенеза у гидробионтов в зонах антропогенного радиоактивного и химического загрязнения. Изученные закономерности естественного и индуцированного хромосомного мутагенеза положены в основу разработанных принципов и методических подходов к цитогенетическому мониторингу популяций гидробионтов от рек Припяти (ЧАЭС) и Днестра до Черного и Эгейского мо-

рей. На основе экспериментальных данных о раздельном и сочетанном действии ионизирующего излучения и химических мутагенов, а также на результатах экспедиционных исследований до и после аварии на ЧАЭС, разработана методология цитогенетической идентификации и экоэквидозиметрической оценки радиационного, химического и сочетанного действия на природные популяции беспозвоночных и рыб [66, 89]. Популяционный подход позволил вскрыть направленность микроэволюционных процессов и определить адаптивные стратегии популяций гидробионтов, живущих в условиях антропогенного стресса. В адаптации популяций к загрязнению большую роль играют особенности их генерационной структуры (Amphipoda) и смена форм размножения - вегетативной и половой (Oligochaeta) [62, 66, 89].

Проявления антропогенно-экологического кризиса в Черном море. С античных времен и до середины XX столетия СЗЧМ отличалась высокой биологической продуктивностью (ее образно называли "житницей Черного моря"), которая обеспечивалась биогенным стоком рек, удобрявших это обширное мелководье. На нем были сосредоточены крупные запасы биологических ресурсов и находились места традиционной добычи рыбы и нерыбных объектов промысла. Так, к СЗЧМ были приурочены около 95 % биомассы агароносных водорослей рода филлофора (*Phyllophora*) всего Черного моря, до 90 % морской травы (*Zostera marina*, L., *Z. noltii*

syn. *Z. minor* (Cavol.) Nolte), около 85 % камбалы калкана (*Psetta maotica* (Pallas, 1811)), глоссы (*Platichthys flesus luscus* (Pallas, 1811)), около 70 % запасов шпрота (*Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1826)), сельди (*Alosa kessleri pontica* (Eichwald, 1841)), около 50 % запасов хамсы (*Engraulis encrasicolus ponticus* Alexandrov, 1927), ставриды (*Trachurus mediterraneus ponticus* Aleev, 1956), осетровых (Acipenseridae) и других рыб [98]. Сходная, но значительно меньшая по масштабам экологическая ситуация наблюдалась на северо-восточном шельфе моря, площадью около 6.500 км², расположенном к югу от Керченского пролива. Биогенные вещества поступают в эту часть Черного моря из Азовского моря, куда они приносятся водами Дона и Кубани. В конце 1960-х и особенно в 1970-е гг., как следствие развития сельского хозяйства, промышленности, транспорта, урбанизации, реки стали поставлять в море значительно более высокие количества соединений азота, фосфора, органических веществ, чем прежде [18, 96, 97]. Началась усиленная антропогенная эвтрофикация моря, наиболее остро проявившаяся в СЗЧМ, где сформировалась обширная зона экологического риска. Цепь спровоцированных избыточным удобрением моря взаимосвязанных экологических процессов, выглядит следующим образом.

Одним из наиболее заметных следствий эвтрофикации было бурное развитие фитопланктона с образованием обширных зон "цветения" воды вплоть до уровня "красных

приливов" [34, 35]. Численность связанной с фитопланктоном и детритом ночесветки (*Noctiluca miliaris* Suriray, 1816, syn. *N. scintillans* (Macart.) Kof. et Sw., 1921) в определенных условиях в нейстали возрастала до небывалых величин, измеряемых десятками кг.м⁻³ [23]. Увеличение численности и биомассы фитопланктона сопровождалось сокращением количества таких крупноклеточных видов, как *Rhizosolenia calcar-avis* M. Schultze 1858 и *Chaetoceros curvisetus* Cl., 1889 [35]. Значительно возросшее количество взвеси (живые и мертвые клетки фитопланктона, частицы их слизи, детрит) привело к снижению прозрачности воды и смещению компенсационной точки в сторону поверхности моря. Донные водоросли из нижних ярусов фитали перестали получать нужное количество солнечных лучей и их сообщества начали деградировать. Показателен в этой связи пример Филлофорного поля Зернова - уникального образования не только в Черном море, но и за его пределами. Это скопление неприкрепленных красных водорослей рода *Phyllophora* четырех видов (с количественным преобладанием двух видов - *P. nervosa* и *P. brodiaei*) на глубинах 20 - 50 м, занимало в 1950-е гг. площадь около 11 000 км² [25]. Для промышленных целей (извлечения агароида) добывалось до 20 000 т водоросли в год, что составляло около 0,2 % от общей биомассы водорослей. К 1980-м гг. запасы филлофоры снизились до 700 000 т [26], а к 1990м гг. - до 300 000 т [96]. Основная причина деградации Филлофорного поля Зер-

нова связана со снижением прозрачности воды. Такой вывод следует, в частности, из того, что так называемое Малое Филлофорное поле, расположенное по соседству на северо-западном шельфе, но на глубинах 8 - 12 м, продолжает развиваться практически в прежнем режиме, сохранив не только биомассу водорослей, но и большую часть специфической "фауны филлофоры", которая на поле Зернова исчезла уже в начале 1980-х гг.

В прибрежной зоне СЗЧМ, донные макрофиты отреагировали на эвтрофикацию изменением видового состава: водоросли со слабо расчлененным талломом были замещены нитчатыми водорослями с высокими показателями удельной поверхности талломов [31, 32], что помогает им более эффективно использовать избыток биогенных веществ в воде. В результате таких перестроек фитоценозов, в конце 1970-х начале 1980-х гг., бурая водоросль цистозира (*C. barbata*) исчезла у побережья Румынии и Одесской области, где она образовывала густые заросли на участках выхода известняков (мысы Мидия, Большой Фонтан, Северный), а также на острове Змеиный. Вместе с видом-эдификатором, исчез и биоценоз цистозир, насчитывавший более 50 видов беспозвоночных и до 10 видов рыб. Одним из весьма серьезных последствий антропогенной эвтрофикации моря стало возникновение зон с дефицитом кислорода (гипоксии) в придонных слоях воды на шельфе.

Механизм возникновения придонной гипоксии представляется следующим образом.

После окончания вегетации, клетки фитопланктона отмирают и оседают на дно. Так происходило всегда, но в 1970-х гг. на дно стало оседать фитопланктона в десятки и сотни раз больше, чем прежде. Выпавшим осадком питаются многие донные организмы, но с десятикратно возросшими количествами отмершего фитопланктона они уже не в состоянии совладать. Поэтому остатки водорослей разлагаются, потребляя при этом растворенный в воде кислород и вызывая его недостаточность (гипоксию) вплоть до полного отсутствия (аноксии) этого жизненно важного газа в придонном слое воды. Причем гипоксия и аноксия создаются тогда, когда водная толща разделена слоем скачка температуры, солености и плотности воды, что затрудняет ее вертикальное перемешивание. Термоклин и пространственно почти совпадающие с ним галлоклин и пикноклин весьма характерны для наиболее опресненных районов СЗЧМ. Именно здесь на глубинах от 8 - 10 до 35 - 40 м развиваются явления сезонной (летне-осенней) гипоксии. В августе 1973 г. экспедицией ОфИнБЮМ на НИС "Миклухо-Маклай" впервые для Черного моря была обнаружена обширная зона гипоксии. Тогда на площади дна около 3500 км² между дельтой Дуная и устьем Днестровского лимана погибло около 500000 т донных животных. В последующие годы площади гипоксии и заморы возрастали, достигая 30000 - 40000 км². По выполненным подсчетам [18], за период 1973 - 1990 гг. общие потери донных животных на северо-

западном шельфе составили около 60 млн т, включая около 5 млн т рыбы - взрослых особей и молоди, промысловых видов и промысловых.

В значительно меньших масштабах заморы протекают на северо-восточном шельфе и в некоторых местах анатолийского шельфа.

Заморы донных животных от гипоксии не измеряются одним лишь экономическим ущербом. Велики также экологические потери, особенно те, которые связаны с массовой гибелью мидии и других биофильтраторов. С развитием эвтрофикации произошло обеднение видового разнообразия беспозвоночных и рыб в импактных районах. По мере сокращения Филлофорного поля Зернова в центральной области СЗЧМ резко уменьшилось количество видов, находивших благоприятные условия для развития в зарослях этой водоросли и образовавших там биоценоз филлофоры. Этот биоценоз насчитывал от 50 до 100 видов беспозвоночных и до 45 видов рыб [5]. С резким уменьшением площади зарослей филлофоры промысловый вид рыбы - морская лисица (*Raja clavata* L., 1758) утратила важный нерестовый район.

Биоценоз бурой водоросли цистозиры (*C. barbata*) насчитывает от 33 до 60 видов макрозообентоса и до 10 видов рыб. Среди последних, атерина (*Atherina mochon pontica* Eichwald 1831) и сарган (*B. belone euxini*) откладывают икру непосредственно на цистозиру. Исчезновение водоросли-эдификатора

биоценоза вдоль северо-западного побережья моря сказалось на участии связанных с ней животных. В результате заморы, произошло резкое обеднение разнообразия видов зообентоса в зонах ежегодно повторяющейся сезонной гипоксии. Например, в одном из таких районов на румынском секторе северо-западного шельфа количество видов макрозообентоса снизилось с 70 в 1961 г, до 37 в 1988 г и до 15 в 1994 г [77]. Погибают представители всех крупных таксонов донной фауны. Наиболее резистентными к дефициту кислорода оказываются обитающие в илах полихеты и недавний вселенец в Черное море - моллюск *Cunearca cornea* (Reeve, 1844) (syn. *Scapharca inaequivalvis* (Broguiere)), плотные створки которого закрываются герметически и позволяют животному в течение нескольких суток обходиться без фильтрации воды извне. Отчетливую реакцию на придонную гипоксию проявляют организмы мейобентоса [6]. При уменьшении количества растворенного в воде кислорода сокращается видовое разнообразие всех таксонов мейобентоса, но численность фораминифер первоначально даже возрастает, однако при длительной гипоксии их остается лишь несколько видов, а в наиболее критических условиях выживает один - *Ammonia tepida* (Cushman, 1928), переживающий обычно всех остальных обитателей бентали в критических зонах моря.

По данным на конец 1980-х - начало 1990-х гг., изменения в морской экосистеме, вызванные эвтрофикацией, прослеживаются в

пелагиали Черного моря на площади до 100 000 км² (по критерию "цветение" воды), а в бентали СЗЧМ на площади до 45 000 км² (по критерию "гипоксия и заморы"). Таким образом, зоны "цветения" воды в Черном море занимают 18,9 % от поверхности всего водоема, а зоны гипоксии - 23,3 % от поверхности его шельфа. Это достаточно высокая степень антропогенного поражения морской экосистемы, однако она не представляет собой исключительный случай. Например, в соседнем Азовском море зона "цветения" воды охватывает около 70 % поверхности пелагиали [94], а зоны гипоксии занимают в различные годы от 25% до 71% площади дна [4]. В Адриатическом море зоны "цветения" воды, характерные для северо-западной части - Венецианского и Триестского заливов, вод у берегов области Эмилия-Романья, охватывают более 21 % поверхности и более 30 % дна моря [75]. Из приведенных примеров видно, что Черное море нельзя считать самым загрязненным в мире, хотя такие высказывания встречаются в литературе, в том числе и в официальных документах (например, в Black Sea Transboundary Diagnostic Analysis, опубликованном GEF Black Sea Environmental Programme в 1997 г.). Начиная с 1993 - 1994 гг., наметилась некоторая тенденция сокращения площади этих районов в Черном море, что связывают со снижением хозяйственной деятельности в странах региона. Учтут ли руководства причерноморских стран уроки прошлого для дальнейшего улучшения экологической ситуации в Черном

море, которое пока помогает себе в этом деле в одиночку, при развитии промышленности и сельского хозяйства, покажет ближайшее время.

Общее заключение и обобщенные рекомендации. Анализ экологических процессов, вызванных антропогенными факторами, показывает, что основные критические зоны экологического риска, или экологические "горячие точки" в Черном море образуются в местах влияния речного стока, в некоторых заливах и бухтах и, особенно, в контурных (краевых) биотопах. Понятие "горячие точки" в глобальной экологии имеет два значения [76]: места с высоким видовым разнообразием и места с высоким содержанием различных загрязняющих веществ. Когда обе эти характеристики в пространстве и во времени совпадают, возникают наиболее серьезные последствия для морской экосистемы. Как показано нами [19, 84, 98], такое происходит именно в контурных биотопах Черного моря, о чем свидетельствуют современные судьбы Филлофорного поля Зернова и его биоценоза на пелоконтуре, биоценоза цистозеры на литоконтуре, интерстициальной мейофауны на псаммоконтуре, биоценоза нейстона на аэроконтуре и потамоконтуре.

Это подтверждается экологическим статусом различных обитателей Черного моря. Так, согласно Красной книге Черного моря, созданной на основании критериев IUCN Red List Categories [69], статус животных, нуждающихся в охране, имеют 63 вида беспозво-

ночных и рыб. Среди них 51 вид, или 80.95 %, на протяжении всего жизненного цикла или на ранних стадиях онтогенеза обитают в контурных биотопах моря. Из числа этих контуробионтов, 48 видов (94.1%) имеют икру, личинок или мальков, которые развиваются исключительно или преимущественно в краевых биотопах аэро-, псаммо- и литоконтур моря.

Приведенные цифры достаточно убедительно доказывают, что: а) наибольшее число видов беспозвоночных и рыб Черного моря, внесенных в Красную книгу, связаны с контурными биотопами; б) контурные биотопы в наибольшей степени подвержены воздействию антропогенных факторов, отрицательно влияющих на живые организмы; в) без учета экологического статуса контурных биотопов и их обитателей оценка состояния морской экосистемы будет неполной. На эмпирическом уровне эта закономерность была замечена уже давно, и не случайно границы охраняемых участков моря - заповедников, заказников, национальных парков и т.д. проложены таким образом, чтобы охватывать и контурные биотопы. Так, охраняемые воды Дунайского биосферного заповедника включают крупные участки потамоконтура, псаммоконтура и пелоконтур, примыкающего к дельте Дуная района Черного моря. В границы Черноморского биосферного заповедника включены более 200 км (по линии уреза воды) псаммоконтура моря, а в границах заповедника "Мыс Мартыан", Карадагского природного заповедника и заказника "Остров Змеиный" -

несколько десятков километров литоконтур моря.

В зависимости от масштабов и причин, породивших те или иные экологические проблемы, принятие решений о перспективном регулировании экологических процессов возможно на местном, национальном либо международном уровнях. Поэтому настоящая статья адресуется в равной мере как специалистам-экологам причерноморских стран, так и административному руководству всех уровней, начиная с малых населенных пунктов, городов, морских, промышленных и сельскохозяйственных центров Украины.

Из данных многолетних исследований экологических процессов, вызванных деятельностью человека в экосистеме Черного моря и, особенно, в его экологических "горячих точках", вытекают ряд выводов, уточняющих либо корректирующих прежние представления о том, что происходит в Черном море на рубеже XX и XXI столетий. Эти выводы и основанные на них рекомендации можно сформулировать следующим образом.

1. Нередко встречающееся мнение о Черном море в целом как об одном из самых загрязненных в мире, что отражено и в ряде официальных документов, не точно, во-первых, потому, не существует какой-то международной "шкалы загрязненности", по которой можно было бы узнать, под каким номером по этому критерию "посеяно" Черное море? Во-вторых, в пределах только средиземноморского бассейна имеются моря более за-

грязненные токсикантами (исключая искусственные долгоживущие радионуклиды), чем Черное море. В-третьих, как было показано авторами, говоря о критическом загрязнении моря, следует иметь в виду не водоем в целом, а его экологические "горячие точки", в которых сосредоточены гидробионты, накапливаются и воздействуют вещества-загрязнители. Что же касается экологического статуса таких конкретных районов Черного моря как собственно побережье Крыма или Кавказа, то он, на данный момент, оценивается в общем как вполне удовлетворительный, и это существенно для реальных перспектив дальнейшего эколого-экономически обоснованного развития курортного дела у этих берегов при условии одновременного адекватного развития технологии его безотходности. Само собой разумеется, что все конкретные случаи антисанитарного состояния пляжей и бухт находятся целиком и полностью на ответственности местных властей.

2. Что касается долгоживущих искусственных радионуклидов в воде Черного моря, то их концентрации действительно превышают таковые в воде других морей Средиземного моря. Однако формируемые ими мощности доз ионизирующих излучений в настоящее время значительно ниже натурального фона, обусловленного, как известно, космическими лучами и излучениями ^{40}K , ^{210}Po , радона и других естественно-радиоактивных элементов в воде, грунте, горных породах и живых организмах. Темпы самоочищения Черного моря

за счет выноса ^{90}Sr , ^{137}Cs и других антропогенных радионуклидов в Эгейское и другие моря Средиземноморья, их переноса и разбавления, с учетом распада, а также соответствующие периоды их полууменьшения и время пребывания в воде представлены в [13].

3. В отношении радиоэкологического состояния Черного моря следует пояснить, что изученные и изучаемые закономерности накопления радионуклидов и действия их ионизирующих излучений позволяют оперативно давать научно обоснованные прогнозы и рекомендации по динамике радиоэкологических ситуаций в Черном море в соответствии с конкретными величинами потоков и поведением потенциальных радиоактивных загрязнений по разным сценариям: в результате не исключенных всюду в мире, включая Украину, в будущем ядерных аварий, в том числе, на АЭС, а также вероятных ядерных террористических актов на территории Украины или соседних государств, возможного (хотя и весьма мало вероятного с позиций настоящего момента) военного применения ядерного оружия в зоне досягаемости акватории и территории Украины от мест потенциальных ядерных конфликтов или диверсий. Такой опыт мониторинга у нас имеется в отношении радиоэкологических последствий на Черном море в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г.

4. Основные "горячие точки" в экосистеме моря расположены на его внешних границах (в контурных биотопах), где морская вода контактирует и взаимодействует с атмо-

сферой (аэроконтур), берегом (псаммоконтур и литоконтур), дном (пелоконтур) и речной водой (потамоконтур). Как показало развитие событий после аварии на ЧАЭС по данным радиоэкологического мониторинга, первыми, принявшими поступившие аварийные коротко-, средне- и долгоживущие радионуклиды в повышенных концентрациях после 26 апреля 1986 г., были: (а) аэроконтур - через атмосферу и (б) потамоконтур - через сток системы рек Припять-Днепр и Днепроовско-Бугский лиман-взморье Черного моря.

5. Пространственное совпадение областей "сгущений жизни" и высоких концентраций загрязняющих веществ в контурных биотопах создает критические зоны в современной экосистеме моря. Поэтому организмы из контурных биотопов (контуробиоты) составляют основную часть видов, внесенных в Красную книгу Черного моря.

6. Все виды экологического мониторинга моря и проводимые природоохранные мероприятия могут быть тем эффективнее, чем полнее будут охвачены контурные биотопы. Стратегия развития заповедной сети на Черном море должна строиться с учетом максимального охвата контурных биотопов.

7. Создание дополнительных подводных поверхностей литоконтра, типа искусственных рифов (ИР), усиливает краевой эффект и стимулирует процесс биологического очищения воды и дна в районе действия этих конструкций. Положительные экологические результаты функционирования сообществ об-

растания на ИР наиболее заметны на песчаных мелководьях прибрежной зоны моря.

8. Оптимизация среды песчаных пляжей псаммоконтра напрямую связана с состоянием интерстициальных сообществ. С целью их охраны следует избегать изменения гранулометрического состава пляжей в сторону уменьшения интерстициальных полостей, что происходит, например, при рефулировании на берег мелкозернистого песка или заиления пляжей глинистыми частицами.

9. В связи с важной эдификаторной ролью водорослей-макрофитов в создании и определении трофической структуры донных биоценозов, экологическую экспертизу любых хозяйственных мероприятий в прибрежной зоне моря следует проводить с учетом реакции макрофитоценозов на соответствующие техногенные воздействия.

10. Как показано выше, наши коллективы многое изучили и немало предложили для практического использования в целях защиты природы Черного моря и улучшения ее состояния. Вместе с тем, предстоит в дальнейшем перспективные разработки крупных насущных и долгосрочных научных проблем, имеющих прямое отношение как именно к Черному морю, так и одновременно касающихся любых морей Мирового Океана. Среди них, наряду с представленными выше, (а) проблема экологической и, в том числе, молисмологической емкости "горячих", "оптимальных" и "переходных" между ними "точек" в Черном море и в других морских водоемах;

(б) крупные новейшие задачи экоэквидозиметрии всех видов загрязнений и других видов повреждающих молисмологических факторов механической, физической, химической и биологической природы; (в) закономерности цитогенетики популяций водных организмов в условиях воздействия ядерных и неядерных загрязнений (и их различного сочетания) при учете экоэквидозиметрии действующих факторов. Мы реалистически оцениваем значение неизбежной и необратимой современной и будущей ядерной эпохи для морских экосистем и для самого ее творца - *Homo sapiens* (Linneus). А именно: да, в условиях надежно управляемой ядерной энергии радиоэкологический фактор не должен вызывать беспокойства (как мы видели выше, менее заметные неядерные факторы создали кризисное и часто катастрофическое состояние в изучаемых "горячих точках").

Вместе с тем: да, в экстремальных случаях ядерного терроризма, маловероятных крупнейших аварий на ядерных предприятиях и не исключенных в мире военных действий с применением крупного ядерного оружия радиоэкологический фактор из рецессивного может занять грозное первое место в морской экологии. Поэтому в ядерную эру мы должны быть готовы научно оценивать и такие маловероятные потенциальные экологические перспективы Черного моря в нашем динамичном и беспокойном начале XXI века. Поэтому наряду с изложенными научными исследованиями все большее значение придается также и формированию всеобщей научно-философской позиции в системе "Биосфера и Человечество" [65, 70, 74].

1. Александров Б. Г. Взаємозв'язок якості середовища і структури водних угруповань. Меліоративний ефект плавневих екосистем. Біорізноманітність Дунайського біосферного заповідника, збереження та управління.- Київ: Наук. думка, 1999. - С. 449 - 473.
2. Александров Б. Г. Методологические аспекты управления качеством водной среды с помощью обрастания твердых субстратов / Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. - С. 351 - 359.
3. Александров Б. Г. Теоретические основы управления качеством водной среды с помощью твердых субстратов // Доповіді НАН України. - 2001. - № 5. - С. 181 - 184.
4. Александрова З. В., Семенов А. Д., Ромова М. Г. и др. Режим кислорода и содержания биогенных веществ Азовского моря в многолетнем аспекте / Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна. - Ростов-на-Дону, 1998. - С. 34 - 48.
5. Виноградов К. А., Закутский В. П. Филлофорное поле Зернова / Биология северо-западной части Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1967. - С. 158 - 176.
6. Воробьева Л. В. Мейобентос украинского шельфа Черного и Азовского морей. - Киев: Наук. думка, 1999. - 300 с.
7. Воробьева Л. В., Зайцев Ю. П., Кулакова И. И. Интерстициальная мейофауна песчаных пля-

- жей Черного моря. - Киев: Наук. Думка, 1992. - 144 с.
8. Гулин С. Б., Поликарпов Г. Г., Ааркрог А. и др. Геохронологическое исследование поступления ^{137}Cs в донные отложения северо-западного шельфа, континентального склона и глубоководной части Черного моря // Доповіді НАНУ. - 1997. - №. 7. - С. 133 - 139.
 9. Гулин С. Б., Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. и др. Реконструкция хронологии поступления ^{137}Cs и хлорорганических загрязнений в глубоководные донные отложения западной части Черного моря (1940-1990) // Доповіді НАНУ. - 1995. - №. 1. - С. 88 - 91.
 10. Гулин С. Б., Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. и др. Геохронологическая оценка радиоактивного загрязнения Черного моря / Чтения памяти Н. В. Тимофеева-Ресовского - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. - С. 88 - 99.
 11. Егоров В. Н. Применение метода меченых атомов для оценки круговорота и моделирования перераспределения химических элементов и их радионуклидов в экосистеме в результате жизнедеятельности ее компонент / Исследование структуры и механизмов функционирования морских экологических систем. - Киев: Наук. думка, 1974. - С. 20 - 24.
 12. Егоров В. Н. Нормирование потоков антропогенного загрязнения черноморских регионов по биогеохимическим критериям // Экология моря. - 2001. - Вып. 57. - С.75 - 84.
 13. Егоров В. Н. и др. Радиоэкологический отклик Черного моря на Чернобыльскую ядерную аварию в отношении долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs // Морской экологический журнал. - 2002. - 1, вып. 1. - С. -.
 14. Зайцев Ю. П. О необходимости некоторых изменений в методике сбора ихтиопланктона / Тез. докл. научн. сессии учен. совета Ин-та гидробиологии АН УССР на Одесск. биол. ст., 3 - 4 ноября 1959 г. - Одесса, 1958. - С. 37 - 40.
 15. Зайцев Ю. П. Про існування біоценозу нейстону в морській пелагіалі // Наук. зап. Одеськ. біол. ст. АН УРСР. - 1960. - Вип. 2. - С. 37 - 42.
 16. Зайцев Ю. П. Морская нейстонология. - Киев: Наук. думка, 1970. - 264 с.
 17. Зайцев Ю. П. Нейстон - биологический фактор воздействия на свойства воды в зоне гидросфера-атмосфера / Взаимодействие между водой и живым веществом: Труды Международного симпозиума, Одесса, 6 -10 октября 1975 г. - М.: Наука, 1979. - II - С. 21 - 25.
 18. Зайцев Ю. П. Экологическое состояние шельфовой зоны Черного моря у побережья Украины (обзор) // Гидробиол. журн. - 1992. - 28, № 4. - С. 3 - 18.
 19. Зайцев Ю. П. Экологические потрясения в Черном море на рубеже тысячелетий // Наук. зап. Тернопільського педагогічного ун-ту. Сер. Біологія. - 2001. - 3, 14. - С. 7 - 8. (Спец. вип. Гідроекологія).
 20. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г. Вопросы радиоэкологии гипонейстона // Океанология. - 1964. - 4, вып. 3.- С. 423 - 430.
 21. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г. Новые проблемы биологии океана // Вестник АН СССР. - 1967. - №. 1. - С. 74 - 79.
 22. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г. Черное море / Грезе В.Н., Поликарпов Г.Г., Романенко В.Д. и др. Природа Украинской ССР - Моря и внутренние воды. Отв. ред. Романенко В.Д. - Киев: Наук. думка, 1987. - С. 17 - 29.
 23. Зайцев Ю. П., Полищук Л. Н., Настенко Е. В. и др. Сверхвысокие концентрации ночесветки *Noctiluca miliaris* Suriray в нейстали Черного моря // Докл. АН УССР, Сер. Б. - 1988. - 10. - С. 67 - 69.
 24. Закутский В. П., Виноградов К. А. Макрозообентос / Биология северо-западной части Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1967. - С. 146 - 157.
 25. Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 739 с.
 26. Калугина-Гутник А. А. Состояние растительных ресурсов Черного моря: проблемы их охраны, рационального использования и повышения // Биология океана: Тез. докл. III съезда океанологов СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - Часть 2. - С. 42 - 43.
 27. Лазоренко Г. Е. Аккумуляционная способность черноморских рыб в отношении естественного радиоэлемента полония // Доповіді НАНУ. Сер. Б. - 2000. - С. 206 - 210.

28. Лазоренко Г. Е. ^{210}Po в гидробионтах Черного моря / Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. - С. 108 - 125.
29. Лазоренко Г. Е., Гулин С. Б. Влияние водной среды из восстановительной зоны Черного моря на кинетику фототрофного обмена у планктонной диатомовой водоросли (*Vacillariophyta*) *Ditylum brightwellii* (West) // Доповіді НАНУ, Сер. Б. - 1987. - No. 12. - С. 67 - 69.
30. Лазоренко Г. Е., Поликарпов Г. Г., Скотникова О. Г. и др. Биогенные свойства глубинных вод Черного моря для некоторых видов планктонных водорослей / Молисмология Черного моря / Отв. ред. Поликарпов Г. Г. - Киев, Наук. думка, 1992. - С. 37 - 50.
31. Миничева Г. Г. Реакция многоклеточных водорослей на эвтрофирование экосистем // Альгология. - 1996. - 6, № 3. - С. 250 - 257.
32. Миничева Г. Г. Использование показателей поверхности бентосных водорослей для экспресс-диагностики трофо-сапробионтного состояния прибрежных экосистем // Альгология. - 1998. - 8, № 4. - С. 419 - 427.
33. Миничева Г. Г. Теоретические и практические возможности морфофункционального подхода при исследовании сообществ водорослей // Альгология. - 1999. - 9, № 2. - С. 89 - 90.
34. Нестерова Д. А. Развитие перидиней *Euxivella cordata* и явление "красного прилива" в северо-западной части Черного моря // Биология моря. - 1979. - Вып. 5. - С. 24 - 29.
35. Нестерова Д. А. "Цветение" воды в северо-западной части Черного моря (обзор) // Альгология. - 2001. - 11, № 4. - С. 502 - 513.
36. Олейникова Ф. А., Закутский В.П. Биоценоз рачка-понтोगаммаруса Азовского моря и его народно-хозяйственное значение // Тез. докл. 1-го съезда сов. океанологов, Москва, 20 - 25 июня 1977 г. - М.: Наука, 1977. - Вып. 2. - С. 43 - 44.
37. Поликарпов Г. Г. К вопросу о развитии реакций радиационного последствия // Биофизика. - 1957. - 2, No. 2. - С. 174 - 177. (English translation, pp. 176 - 179).
38. Поликарпов Г. Г. Накопление радиоизотопа церия пресноводными моллюсками // Природа. - 1958. - No. 5. - С. 86 - 87.
39. Поликарпов Г. Г. Радиоактивные изотопы и ионизирующие излучения в морской биологии // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1960. - 13. - С. 275 - 292 (JPRS 20,630; pp. 1 - 25).
40. Поликарпов Г. Г. К изучению фосфорного питания *Ulva rigida* методом меченых атомов // Тр. Севастоп. биол. станции. - 1960. - 13. - С. 296 - 298.
41. Поликарпов Г. Г. Радиоэкология морских организмов / Накопление и биологическое действие радиоактивных веществ / Под ред. В. П. Шведова. - М.: Атомиздат, 1964. - 295 с.
42. Поликарпов Г. Г. Закономерности радиоэкологических процессов концентрирования в морях и океанах. - М.: Атомиздат, 1968. - 18 с.
43. Поликарпов Г. Г. Нерешенные проблемы водной радиоэкологии. // Радиобиология. - 1970. - 10, вып. 2. - С. 242 - 252.
44. Поликарпов Г. Г. Радиоэкология гидробионтов. // Природа. - 1971. - No. 10. - С. 47 - 56.
45. Поликарпов Г. Г. О роли живого вещества в гидросфере / Взаимодействие между водой и живым веществом: Тр. Междунар. симп., Одесса, 6-10 окт. 1975 г. - М.: Наука, 1979. - I. - С. 13 - 20.
46. Поликарпов Г. Г. (ред). Поликарпов Г.Г. и др. Морская радиоэкология. - Киев: Наук. думка, 1970. - 275 с.
47. Поликарпов Г. Г. (ред.). Поликарпов Г. Г. и др. Радиационная и химическая экология гидробионтов. - Киев: Наук. думка, 1972. - 118 с.
48. Поликарпов Г. Г. (ред.). Поликарпов Г. Г. и др. Хеморадиоэкология пелагиали и бентали. - Киев, Наук. думка, 1974. - 271 с.
49. Поликарпов Г. Г. (ред). Молисмология Черного моря. - Киев: Наук. думка, 1992. - 303 с.
50. Поликарпов Г. Г. и др. Международная программа исследований по проблеме "Взаимодействие между водой и живым веществом" // Гидробиол. журн. - 1972. - 8, No. 6. - С. 121 - 126.

51. *Поликарпов Г. Г., Веселова Т. В., Лазоренко Г. Е.* та ін. Про відсутність токсичності глибинної чорноморської води після видалення сірководню. // Вісник АН УРСР. - 1986. - № 2. - С. 41 - 45.
52. *Поликарпов Г. Г., Єгоров В. М.* Здатність морських екосистем до видалення радіоактивних і хмічних забруднень з фотичного шару // Вісник АН УРСР. - 1981. - № 2. - С. 73 - 81.
53. *Поликарпов Г. Г., Єгоров В. Н.* Морская динамическая радиохемоэкология. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 176 с.
54. *Поликарпов Г. Г., Єгоров В. Н., Гулин С. Б.* и др. Газовыделения со дна Черного моря - новый объект молисмологии / Молисмология Черного моря / Ред. Г. Г. Поликарпов. - Киев: Наук. думка, 1992. - С. 5-10.
55. *Поликарпов Г. Г., Єгоров В. Н., Нежданов А. И.* и др. Явление активного газовыделения из поднятий на свале глубин западной части Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. - 1989. - № 12. - С. 13 - 15.
56. *Поликарпов Г. Г., Зайцев Ю. П.* Гипонейстон и вопросы его радиоэкологии / Вопросы гидробиологии: Тез. докл. I Съезд Всесоюзного гидробиол. общ-ва. - М., 1965. - С. 344 - 345.
57. *Поликарпов Г. Г., Зайцев Ю. П.* Горизонты и стратегия поиска в морской биологии: Доклад на Президиуме АН УССР 16 мая 1968 г. - Киев: Наук. думка, 1969. - 31 с.
58. *Поликарпов Г. Г., Зайцев Ю. П.* Экологические процессы и охрана природы моря / Радиоэкологические исследования Средиземного моря. - Киев, Наук. думка, 1970. - С. 193 - 197.
59. *Поликарпов Г. Г., Иванов М. В., Гулин С. Б.* и др. Депонирование углерода метана в карбонатных бактериальных постройках на свале глубин сероводородной зоны Черного моря. - Доповіді НАН України. - 1993. - No. 7, С. 93 - 94.
60. *Поликарпов Г. Г., Лазоренко Г. Е., Ланская Л. А.* Реакция планктонных водорослей (*Bacillaria* и *Rydgophyta*) на водную среду из восстановительной зоны Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. -1986. - No. 8. - С. 73 - 75.
61. *Поликарпов Г. Г., Тимощук В. И., Кулебакина Л. Г.* Концентрация ^{90}Sr в водной среде нижнего Днепра в направлении Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. - 1988. - No. 3. - С. 77 - 79.
62. *Поликарпов Г. Г., Цицугина В. Г.* Сравнение цитогенетической и экосистемной эффективности действия радиоактивных и химических мутагенов в гидробисфере. // Доповіді НАН України. - 1999. - No. 6. - Р. 199 - 202.
63. *Полищук Л. Н.* Новые данные о распределении гипонейстонных рачков семейства *Pontellidae* в северо-западной части Черного моря // Биология моря. - 1977. - Вып. 43. - С. 23 - 25.
64. *Поповичев В. Н., Єгоров В. Н.* Биотический обмен минерального фосфора в эвфотической зоне западной части Черного моря / Чтения памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. - Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. - С. 140-158.
65. *Тимофеев-Ресовский Н. В.* Биосфера и человечество // Науч. тр. Обнинского отд. Географич. общ-ва СССР. - Обнинск, 1968. - Сб.1, 4.1. - С. 3 - 12.
66. *Цицугина В. Г., Поликарпов Г. Г.* Цитогенетические и популяционные эффекты у олигохет из Чернобыльской зоны. // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2000. - 40, No. 2. - С. 226 - 230.
67. *Aarkrog A.* A retrospect of anthropogenic radioactivity in the global marine environment // Radiation Protection Dosimetry. - 1998. - 75, No 1-4. - P. 23 - 31.
68. *Bacescu M., Gomoiu M. T., Petran A.* et al. Recherches ecologiques sur les fonds sablonneux de la mer Noire (cote Roumaine) // Trav. Mus. Nat. "Gr. Antipa". - Bucuresti, 1965. - 5.- P. 33 - 81.
69. Black Sea Red Data Book /Ed. by H.J. Dumont. - New York: United Nations Office for Project Services, 1999. - 413 p.
70. Eco-Ethics International Union. Eco-ethics farther developed text: 01.05.2001 / O.Kinne. EEIU Headquarters. Brochure: Inter-Research, 2001. - 8 p.
71. *Egorov V. N.* et al. ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications // J. Environ. Radioactivity. - 1999. - 43. - P. 137 - 155.

72. *Gulin S. B.* et al. Chronological study of ¹³⁷Cs, PCB and some pesticides fluxes into the Western Black Sea deep sediments / A. Cigna et al. (Eds.) - European Commission Radiation Protection No. 70: The radiological exposure of the population of the European community to radioactivity in the Mediterranean Sea. - MARINA-MED Project, Rome (pp. 487-500). 17 - 19 May 1994, Directorate-General, Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, Brussels-Luxembourg.
73. IAEA. Sediment Kds and concentration factors of radionuclides in the marine environment // Technical Reports. - 1985. - Ser. No 247 (Vienna: International Atomic Energy Agency).
74. *Kinne O.* Ethics and eco-ethics // Marine Ecology Progress Ser. - 1997. - **153**. - P. 1 - 3.
75. *Marchetti R.* Algal blooms and gel production in the Adriatic Sea / Eutrophication-related phenomena in the Adriatic Sea and in other Mediterranean coastal zones // Water Pollution Research Report 19. - Ed. H. Barth & L. Fegan, 1990. - P. 21 - 41.
76. *Norse E. A.* (Ed). Global marine biological diversity: A strategy for building conservation into decision making. - Washington, DC: Island Press. 1993. - 383 p.
77. *Petranu A.* (Comp.). Black Sea Biological Diversity. - New York: UN Pub. , 1997. - 314 p.
78. *Polikarpov G. G.* Ability of some Black Sea organisms to accumulate fission products // Science. - 1961. - 137, No. 3459. - P. 1127 - 1128.
79. *Polikarpov G. G.* Radioecology of aquatic organisms / Ed. V. Schultz & A.W. Klement, Jr. North-Holland Publ. Comp. - Amsterdam, Reinhold Book Division - New York, 1966. - 314 pp.
80. *Polikarpov G. G.* Effects of ionizing radiations on aquatic organisms (Chronic irradiation) / Alcuni Aspetti di Radioecologia, Atti: XX Congresso Nazionale AIFSPCR, Bologna, 1977. - P. 25 - 46.
81. *Polikarpov G. G.* Effects of nuclear and non-nuclear pollutants of marine In: Black Sea Pollution Assessment / Ed. L.D. Mee & G. Topping. - New York: UN Publ., 1998. - P. 57 - 67.
82. *Polikarpov G. G.* Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionising radiation in the environment // Radiation Protection Dosimetry. - 1998. - **75**. - P. 181 - 185.
83. *Polikarpov G. G.* Biological aspect of radioecology: objective and perspective / Comparative Evaluation of Environmental Toxicants. Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies: Proc. Intern. Workshop on Comparative Evaluation of Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies. Chiba, Jan. 28-30.1998. / J. Inaba & Y. Nakamura (Editors). - Tokyo: Kodansha Scientific LTD, 1998. - P. 3 - 15.
84. *Polikarpov G. G.* Effects of nuclear and non-nuclear pollutants of marine ecosystems: Proc. Symp. held in Monaco, 5 - 9 Oct. 1998, org. By IAEA, co-sponsored by IOC of UNESCO, UNEP and IMO, in cooperation with CIESM. IAEA, Vienna, 1999. IAEA-TECDOC-1094. IAEA-SM-354/22, P. 38 - 43.
85. *Polikarpov G. G.* The future of radioecology: in partnership with chemo-ecology and eco-ethics // J. Environ. Radioactivity. - 2001. - **53**, No 1. - P. 5 - 8.
86. *Polikarpov G. G., Kulebakina L. G., Timoschuk V. I.* et al. ⁹⁰Sr and ¹³⁴Cs in surface water of the Dniپر River, the Black Sea and the Aegean Sea in 1987 and 1988 // J. Environ. Radioactivity. - 1991. - No 13. - P. 25 - 38.
87. *Polikarpov G. G., Zaitsev Yu. P.* Ecological processes and chemical ecology of the Mediterranean Sea // Rapp. Comm. Int. Mer Medit. - 1971. - **20**, No 3. - P. 433 - 434.
88. *Polikarpov G. G., Zaitsev Yu. P., Zats V. I.* et al. Pollution of the Black Sea (levels and sources): Proc. of the Black Sea Symposium "Ecological Problems and Economic Prospects" 16 - 18 Sept. 1991, Istanbul, Turkey. - Istanbul: The Black Sea Foundation for Education, Culture and Protection of Nature, 1994. - P. 15 - 42.
89. *Tsytsugina V. G.* An indicator of radiation effects in natural populations of aquatic organisms // Radiation Protection Dosimetry. - 1998. - **75**, No 1-4. - P. 171 - 173.
90. *Woodhead D. S.* Dosimetry and the assessment of environmental effects of radiation exposure / Radioecology after Chernobyl. Biogeochemical Pathways of Artificial Radionuclides. - SCOPE 50. - 1993. - P. 291-306.

91. *Zaitsev Yu.P.* La Neustonologie marine: Object, Méthodes, Réalisations principales et Problèmes // Pelagos. - 1968. - F. 8. - P. 1 - 48.
92. *Zaitsev Yu. P.* Contourbionts in Ocean Monitoring // Environmental Monitoring and Assessment. - 1986. - 7. - P. 31 - 38.
93. *Zaitsev Yu. P.* Marginal Ecotones in Ocean Monitoring: Proc. of the Internat. Symposium on Integrated Global Monitoring of the State of the Biosphere. - 1986. - Tech. Doc. WMO/TD No 151. - P. 25 - 38.
94. *Zaitsev Yu. P.* Cultural eutrophication of the Black Sea and other South European Seas // La mer. Société franco-japonaise d'océanographie. - 1991. - 29, No 1. - P. 11 - 17.
95. *Zaitsev Yu. P.* Recent changes in the trophic structure of the Black Sea // Fisheries Oceanography. - 1992. - 1, No 2. - P. 180 - 189.
96. *Zaitsev Yu. P.* Impact of eutrophication on the Black Sea fauna. General Fish. Council for the Mediterranean. Studies and Reviews. - Rome: FAO. - No 64. - P. 59 - 86.
97. *Zaitsev Yu. P.* Eutrophication of the Black Sea and its Major Consequences. / Black Sea Pollution Assessment (Edited by L.D. Mee & G. Topping). - New York: UN Publ., 1998. - P. 57 - 67.
98. *Zaitsev Yu., Mamaev V.* Marine Biological Diversity in the Black Sea. A Study of Change and Decline. - New York: UN Publ., 1997. - 208 p.