НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГИДРОБИОЛОГИИ НАН УКРАИНЫ

ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В ФЕВРАЛЕ 1965 Г.
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

№ 1(301), Том 51, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Ю. П. Зайцев. О контурной структуре гидросферы 3

Общая гидробиология

Ю. В. Плигин, С. В. Кружилина. Характеристика ценозов макрозообентоса Кременчугского водохранилища р. Днепр как основа оценки его биоресурсного потенциала 28

П. Д. Клоченко, Т. Ф. Шевченко, Г. В. Харченко. Структурно-функциональная организация фитопланктона в зарослях и на открытых участках озер г. Киева 49

Ф. Б. Шкундина, Д. И. Сахабутдинова. Фито- и зоопланктон нижнего течения р. Белой (РФ, Республика Башкортостан) как показатели экологического состояния 66

Аквакультура

А. Б. Боровков, И. Н. Гудвилович. Интенсивное культивирование *Dunaliella salina* как способ получения биомассы с повышенным содержанием β-каротина. Сообщение 1. Влияние факторов культивирования 74

Водная микробиология

В. М. Якушин, А. С. Потрохов, О. Г. Зиньковский, Г. М. Романишин, К. П. Калениченко, М. И. Линчук. Численность бактерий и протеолитическая активность в воде озера, расположенного в городской черте 83

© Институт гидробиологии НАН Украины, 2015

Киев 2015

УДК 574.5:504.4

Ю. П. Зайцев

О КОНТУРНОЙ СТРУКТУРЕ ГИДРОСФЕРЫ

Светлой памяти Елены Дмитриевны Куцирий — жены и друга — посвящается

Развитие научного наследия В. И. Вернадского показало, что в его «пленках жизни» на границах гидросферы с атмосферой и литосферой, в которых протекают основные биогеохимические процессы в биосфере Земли, находятся еще более тонкие образования — контурные биотопы, населенные специфическими сообществами контуробионтов, играющие ключевую роль в функционировании водных экосистем, размножении других гидробионтов и отличающиеся высокой чувствительностью к внешним воздействиям. Они названы экологическими «дозорными», и их предложено использовать в экологическом мониторинге.

Ключевые слова: *нейстон, контурные биотопы и сообщества, контуробионты, экологический мониторинг.*

Особенностям распределения жизни в биосфере Земли, включая моря и океаны, посвящена обширная литература. В публикациях обычно обращают внимание на то, что В. И. Вернадский называл «всюдностью» жизни, которую живые организмы подтверждают своим присутствием на предельных глубинах океана, в ледниках горных вершин, горячих источниках и других биотопах с экстремальными условиями обитания. Открытие во второй половине XX столетия неизвестных науке живых существ в глубинных гидротермах в рифтовых зонах океана еще раз подтвердило тезис о «вездесущности» жизни. Можно не сомневаться, что именно исходя из убеждения, что живые организмы в морской среде присутствуют повсеместно, исследователи традиционно считают, что представление о распределении жизни в морях и океанах можно получить лишь путем отбора проб во всей толще пелагиали и на всех глубинах бентали.

Нельзя исключать также и того, что по этой же причине исследователи длительное время не уделяли особого внимания сравнительно тонкой, максимально насыщенной жизнью «пленке», о которой также писал В. И. Вернадский начиная с 1926 г. [2, 3]. Верхний слой морской пелагиали, в котором осуществляется интенсивный фотосинтез, представляет собой область наиболее активной трансформации солнечной энергии и простирается до глу-

© Ю. П. Зайцев, 2015

бины 100, иногда 200 м. По сравнению со всей толщей водных масс это — не более чем пленка, считал В. И. Вернадский. Прибрежное скопление жизни на шельфе, составляющем не более 8% общей площади дна Мирового океана, по Вернадскому — тоже пленка, так же как и почвенный слой на суше.

Пленке жизни как важнейшему компоненту биосферы, от состояния которого зависит будущее не только растений и животных, а в конечном итоге и человечества, посвятил монографию «Плівка життя» академик НАН Украины М. А. Голубец [5]. В предисловии автор напомнил читателю, что, согласно учению В. И. Вернадского, не весь объем биосферы равномерно насыщен жизнью и что лишь на стыке атмосферы с литосферой и в верхних слоях гидросферы наблюдаются наибольшие скопления живых существ — «пленки», или «сгущения» жизни, в то время как в остальной (основной) части биосферы организмы находятся в рассредоточенном (рассеянном) состоянии. Используя последние данные науки, М. А. Голубец уточняет, что пленка жизни в материковых водах охватывает весь объем озер, рек, болот, а в морских — только прибрежные биотопы и приповерхностную (эвфотическую) зону пелагиали, толщина которой ограничивается верхними 10—60 метрами. При этом, как отмечал и В. И. Вернадский, именно в «пленке жизни» под влиянием различных природных и антропогенных факторов происходят наиболее глубокие изменения, и по этой причине она заслуживает первоочередного внимания со стороны науки и практики.

Все сказанное выше, в принципе, справедливо, и естественно было бы считать, что с выходом в свет монографии «Плівка життя» можно поставить точку в длительном процессе совершенствования методики отбора проб воды и организмов для экологического мониторинга гидросферы, выявления ее «горячих» экологических точек и разработки практических рекомендаций природоохранного назначения.

Произошло, однако, еще одно немаловажное научное событие. В последние годы были получены бесспорные данные о том, что в пределах гидросферных «пленок» В. И. Вернадского размещаются еще более тонкие образования, тоже своего рода пленки — биотопы, населенные специфическими сообществами организмов, которые качественно, количественно и ролью в экосистеме отличаются от «пленок» Вернадского в не меньшей степени, чем последние отличаются от остальной водной толщи и больших глубин бентали. Эти тончайшие пленки получили название *контурных* биотопов и сообществ. О них пойдет речь в данной публикации.

Концепция контурных биотопов и сообществ не противоречит принципиальной идее «пленки жизни», а, наоборот, подтверждает и конкретизирует на примере морей, океанов и континентальных вод гениальный тезис В. И. Вернадского о резком усилении биогеохимических процессов на границах сред в природе. К тому же, как справедливо отмечает и М. А. Голубец, определяя пленку жизни как вещественно-энергетический блок биосферы и слой сосредоточения жизни, В. И. Вернадский не раскрывал ее функциональной сущности в экосистеме. Подчеркивая мизерность занятого пленкой пространства и ее незначительную толщину по сравнению с мощностью биосферы, он не обращал особого внимания на ее роль в общей организа-

ции и функционировании этой глобальной живой системы. В. И. Вернадского, как биогеохимика, прежде всего интересовали биосферные функции живого вещества в целом. В контурных биотопах и сообществах, которые, следуя его метафоре, можно назвать *ультрапленками*, биосферные функции живого вещества проявляются наиболее наглядно и убедительно. С удалением от ультрапленок эффект границы (краевой эффект) убывает по экспоненте.

Границы раздела и контакта имеют первостепенное значение для понимания основы биологической структуры океана, сформулированной В. И. Вернадским. Высказывается предположение [1], что он, по-видимому, исходил из идей одного из основоположников термодинамики В. Гиббса о сгущении всех свойств на границах раздела. Возможно, это и справедливо, однако нам кажется, что главным вдохновителем в этой области мог быть учитель В. И. Вернадского, основоположник почвоведения В. В. Докучаев. Позднее В.И. Вернадский выделил на суше лишь одну пленку — почвенную, подчеркивает М. А. Голубец, насыщенную микроорганизмами, растениями и животными. Эта пленка полностью покрывает сушу, хотя во многих местах (пустыни, высокогорье, ледники и др.) жизнь в почве носит разреженный характер. В работах В. И. Вернадского она рассматривается как гигантская экологическая система, оказывающая, наряду с Мировым океаном, решающее влияние на всю биосферу Земли [6].

Аэроконтур. Подход автора этой статьи к концепции контурных биотопов и сообществ начался с открытия морского нейстона, сама возможность существования которого в морях и океанах в научной литературе до этого отрицалась [13]. Биотопом сообщества морского нейстона был определен верхний (0—5 см) слой пелагиали, в котором размещаются все живые существа, «приписанные» к самой поверхности, включая личинок и молодь множества видов рыб, хотя физики, изучающие ее поверхность, оперируют верхним слоем воды толщиной 1 мм [54], микробиологи — слоем 0—2 см [46]. В таком измерении пленка морского нейстона приблизительно в тысячу раз тоньше поверхностной планктонной «пленки» В. И. Вернадского и существенно отличается от нее целым рядом признаков, свойств и ролью в биосфере [13, 44].

Известно, что в верхних 5 см пелагиали поглощаются и трансформируются в другие виды энергии до 50% солнечной радиации, проникающей в морскую пелагиаль, вся инфракрасная радиация, а также средние и дальние ультрафиолетовые лучи, отличающиеся наиболее высокой биологической активностью. Кроме того, на самой поверхности аккумулируются минеральные и органические вещества. Они поступают из водной толщи с пузырьками газа («пузырьковый лифт»), с телами отмерших гидробионтов («антидождь трупов»), выпадают из атмосферы (эоловые наносы) в виде частиц почвы, пыльцы и других частей растений, наземных насекомых и других веществ и существ [10, 13, 29].

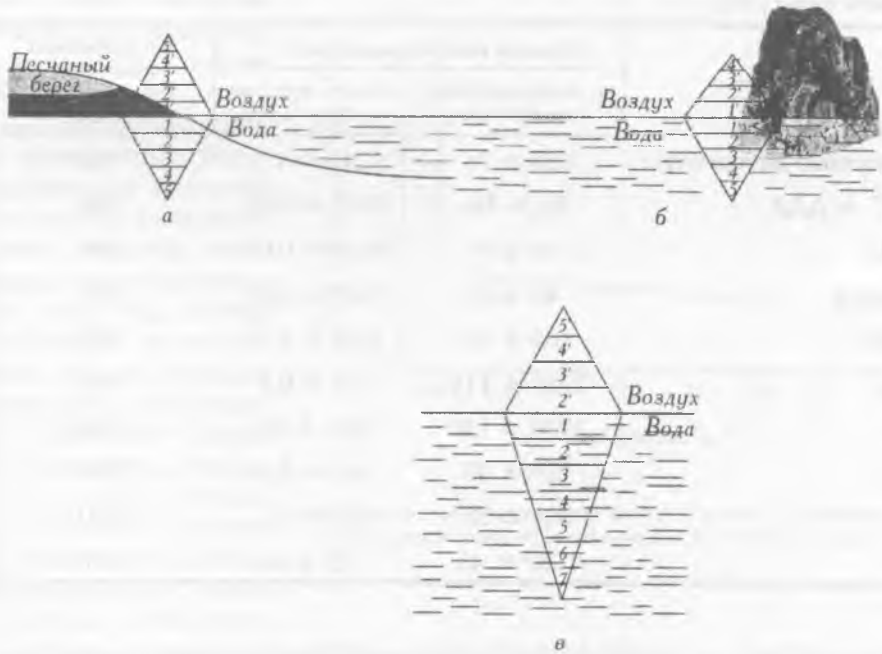
В результате действия указанных природных процессов на поверхности пелагиали образуется особый сгусток веществ и энергии, включая энергию космической природы, какого нет нигде более в водной толще, в том числе и

в поверхностной пленке В. И. Вернадского. Вместе с тем, в этом же биотопе в результате тех же естественных процессов скапливаются и различные вредные для живых организмов вещества (табл. 1), в частности детергенты, пестициды, тяжелые металлы, радионуклиды и др. [35, 37, 57]. Процесс аккумуляции биологически полезных и токсических веществ у поверхностной пленки воды особенно сильно проявляется при спокойной поверхности моря и вблизи берегов, то есть там, где сосредоточиваются и многие организмы, в том числе молодь большинства видов рыб. Это представляет прямую угрозу для организмов нейстона. Экологическую обстановку в нейстали усложняет также двойной пресс хищников, угрожающих из воды и воздуха. В толще пелагиали этот фактор резко ослаблен или вовсе отсутствует. При изучении условий существования морского нейстона неожиданно было обнаружено стимулирующее действие морской пены не только на различные морские, но и на наземные организмы. Лабораторные опыты проводились с водорослями, креветками, личинками рыб, а также с некоторыми злаковыми растениями, и во всех случаях были получены статистически достоверные результаты [11, 48]. При этом было установлено, что такое стимулирующее действие присуще только незагрязненной пене, при наличии в ней загрязняющих поверхностно-активных веществ оно прекращалось. Химический состав морской пены автором не изучался, работа проводилась с «черным ящиком», однако несомненно, что обнаружено еще одно важное свойство нейстали, характеризующее экологическую специфику самого верхнего, контурного биотопа.

Таким образом, внутри, а точнее на самой поверхности планктонной пленки В. И. Вернадского — пленки хлорофиллового планктона, находится ультрапленка нейстона, плотность жизни в которой, специфика населяющих ее организмов и их роль в морской экосистеме значительно отличаются от таковых в первой, не говоря уже о всей водной толще.

Для живых существ приповерхностный биотоп пелагиали представляет собой пример единства противоположностей: с одной стороны — очень благоприятная, а с другой — очень неблагоприятная среда обитания. Живая природа, которая, по выражению Б. Коммонера, «знает лучше», а точнее — механизм естественного отбора не мог не «воспользоваться» исключительными преимуществами этого биотопа. В результате в процессе эволюции сформировалось специфическое сообщество организмов морского нейстона. Их происхождению, видовому составу, приспособленности к абиотическим и биотическим условиям, в том числе и к двойному прессу хищников, посвящены многие научные публикации [8, 12, 27, 38, 53, 58, 60, 65 и др.]. Принципиальные схемы двойных экологических пирамид показаны на рисунке 1.

Исследованиями было установлено, что морской нейстон играет важнейшую роль в естественном воспроизводстве морских организмов, в том числе важных промысловых видов. Он оказался чувствительной экологической мишенью и биологическим индикатором многих негативных факторов, особенно сильно воздействующих на границе моря и атмосферы [24—26, 38]. На одном из совещаний Комиссии ООН по охране моря автором было предложено внести в практику экологического мониторинга морей и океанов



1. Двойные (водные и надводные) экологические пирамиды на псаммоконтуре (*а*), литоконтуре (*б*) и аэроконтуре (*в*) моря (схемы). Цифрами обозначены трофические уровни.

особый раздел — нейстонный дозор (Neuston Watch). Это предложение было обсуждено, принято и включено в Рекомендации Комиссии [52, 63]. Для дальнейшего развития исследований морского нейстона (в Черном море, по мнению автора, на то время присутствовала только его водная фракция — гипонейстон) решением Президиума АН УССР в Одесском отделении ИнБЮМ был создан отдел гипонейстона, что значительно ускорило процесс познания этого прежде неизвестного науке сообщества морских организмов. В процессе обнаружения различных обитателей биотопа нейстона, получившего название *нейстали* [10, 14], нередко возникали противоречия с известными в науке фактами и убеждениями. Так, например, было с бактериями нейстали. Один из основателей морской микробиологии Клод Зобелл [71] отметил, что после прохождения всего 10-сантимерового слоя воды интенсивность наиболее вредной бактерицидной радиации сокращается не меньше чем наполовину. Поэтому на поверхности воды не могут присутствовать сколь либо значительные скопления бактерий. По нашим же косвенным данным, следовало, что, наоборот, бактерий в нейстали должно быть много, по крайней мере значительно больше, чем в нижележащей водной толще.

Изготовив специальные приборы для отбора проб у поверхности, научный сотрудник отдела гипонейстона А. В. Цыбань открыла бактерионейстон — скопление бактерий, которое не наблюдается нигде более в толще воды

1. Содержание некоторых токсикантов в поверхностной пленке и толще морской воды [35]

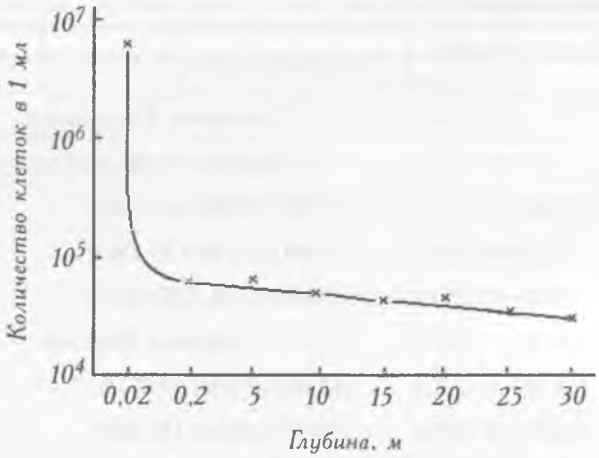
Вещества	Средняя концентрация, мкг·л$^{-1}$		Коэффициент накопления в поверхностном слое
	в поверхностном слое (100 мкм)	в толще воды на глубине 0,5 м	
Анионные детергенты	850 ± 75	10 ± 1	83
ДДТ + ДДД	95 ± 10	0,10 ± 0,02	950
ДДЕ	86 ± 9	0,10 ± 0,02	860
Линдан	44 ± 8	0,07 ± 0,02	630
ПХБ	105 ± 15	0,10 ± 0,02	1050
Hg	2750 ± 110	0,5 ± 0,1	550
Pb	2920 ± 150	13,5 ± 3,5	2200
Cd	120 ± 35	0,4 ± 0,1	300
Cu	235 ± 15	0,3 ± 0,1	800
Zn	1020 ± 45	22 ± 4	470

(рис. 2). В частности, эти бактерии отличаются интенсивной пигментацией, по всей видимости, предохраняющей их от действия бактерицидной радиации [46, 47, 61].

Также были обнаружены скопления одноклеточных водорослей — фитонейстон [34], грибов — миконейстон [23], беспозвоночных — зоонейстон, икры, личинок и мальков рыб — ихтионейстон [7—9, 41, 70 и др.]. Все эти организмы отличались признаками и свойствами адаптивного характера, облегчающими не только выживание, но и массовое развитие в условиях нейстали. Накопились фактические данные для формулировки сути новой области знания — «морской нейстонологии» [12, 13, 63]. Монография автора «Морская нейстонология», опубликованная в 1970 г. в Киеве в издательстве «Наукова думка» на русском языке [13], вышла на английском в США и Израиле в 1971 г. [63]. Эта область биологии моря уже давно признана одним из приоритетов Национальной академии наук Украины [37].

Аттрактивность контурного биотопа нейстали для гидробионтов подтверждается и тем обстоятельством, что многие представители планктона и бентоса — веслоногие ракообразные, щетинкочелюстные, полихеты, амфиподы, кумовые и другие, совершая регулярные циркадные вертикальные миграции, в темное время суток скапливаются именно в слое 0—5 см [13, 28, 55], где находят обилие пищи и благоприятные условия для размножения (табл. 2—4). Для обозначения таких мигрантов были предложены термины планктогипонейстон (планктонейстон) и бентогипонейстон (бентонейстон) [10]. На практике это явление давно известно в связи, например, с массовыми вертикальными миграциями в тропиках полихет из семейства Eunicidae, которых местные жители традиционно вылавливают у поверхности воды и используют в пищу.

Плотное скопление живого вещества в нейстали привлекает к себе многих потребителей из числа водных беспозвоночных и позвоночных. К потребителям нейстона относятся кальмары, рыбы, морские черепахи, китообразные и др. Описаны случаи массового потребления исключительно нейстонтов. Их поедают летучие рыбы (Exocoetidae), полурыловые (Hemiramphidae), скумбрещуковые (Scomberesocidae), желтоперый тунец (*Thunnus albacores*), корифены, или золотые макрели (*Coryphaena hippurus, C. equisetis*), парусник (*Istiophorus platypterus*), луна-рыба (*Mola mola*). В Черном море желудки дельфинов белобочки и азовки бывают сплошь заполненными гипонейстонными равноногими *Idotea stephenseni* и морской иглой Шмидта *Syngnathus schmidti* [31].



2. Среднегодовая численность бактерий (кл·см$^{-3}$) на разных горизонтах водной толщи в северо-западной части Черного моря [47].

Менее известны животные — нейстофаги из числа аэробионтов. К ним относятся такие специализированные виды птиц, как водорезы (Rhynchopidae), качурки (Hydrobatidae) (например, *Oceanodroma leucorrhoa* и *Oceanites oceanicus*), буревестники (например, малый буревестник *Puffinus puffinus*), различные крачки, чайки и др. (рис. 3). К нейстофагам тропиков относятся и летучие мыши сем. Noctilionidae [13, 23].

2. Вертикальное распределение (кл·дм$^{-1}$) **диатомовых и синезеленых водорослей в северо-западной части Черного моря** [34]

Горизонты	Диатомовые водоросли			Синезеленые водоросли
	Cerataulina pelagica	*Nitzschia closterium*	*Chaetoceros insignis*	*Merismopedia minima*
ПМС*	96 000 000	360 000	182 400	83 875
0—5 см	2 700 000	11 600	0	0
10 м	12 800	11 200	0	0
25 м	2 400	11 200	0	0
35 м	800	0	0	0

* ПМС — поверхностный микрослой пелагиали (нейсталь).

3. Средняя численность мелких беспозвоночных у поверхности пелагиали Черного моря [23]

Микрогоризонты, см	Численность, экз м$^{-3}$, $M \pm m$	Степень надежности среднего t
	Личинки Polychaeta	
0—5	2 742,55 ± 26,92	101,87
5—25	931,05 ± 8,05	115,65
25—45	1 041,05 ± 139,13	7,48
45—65	9 86,05 ± 125,02	7,88
	Личинки Bivalvia	
0—5	45 907,05 ± 1002,14	45,80
5—25	25 174,05 ± 188,08	133,84
25—45	5 322,05 ± 205,41	25,90
45—65	5 125,30 ± 226,40	22,63
	Копеподитные стадии *Oithona minuta*	
0—5	5 997,10 ± 225,32	26,61
5—25	3 758,80 ± 158,28	23,71
25—45	3 400,05 ± 522,06	6,51
45—65	3 520,05 ± 529,28	6,65
	Взрослые самки *Centropages ponticus*	
0—5	1 267,55 ± 199,60	6,35
5—25	435,30 ± 72,31	6,01
25—45	459,55 ± 95,77	4,79
45—65	383,55 ± 78,16	4,90

В Черном море нейстонный образ жизни ведут не только икринки и личинки, но и молодь некоторых видов рыб, во взрослом состоянии обитающих у дна, например барабули (*Mullus ponticus*) и морского налима (*Gaidropsarus mediterraneus*). Личинки этих рыб с длиной тела до 4—5 мм прозрачны, а мальки до 50—60 мм имеют ярко-серебристую окраску нижней половины тела и синюю окраску спины. Кроме того, у мальков хорошо выражен брюшной киль, которого нет у взрослых. В составе их пищевого комка обнаружены массовые компоненты нейстона, в частности понтеллиды. Поведенческие реакции этих мальков также характерны для нейстонтов. Можно наблюдать, как после быстрого рывка малек резко останавливается и изгибает тело дугой, напоминая в таком виде обрывок водоросли либо другой объект, несъедобный для рыб и птиц. Вообще, случаи мимикрии широко распространены среди нейстонных личинок и мальков рыб и не только, что вызвано особенно сильным прессом хищников, который в водной толще проявляется значительно слабее [13]. Эти и другие примеры дают основание гово-

4. Относительное количество крупных беспозвоночных у поверхности пелагиали Черного моря по сборам пятиярусной планктонно-нейстонной сети ПНС-5 [23]*

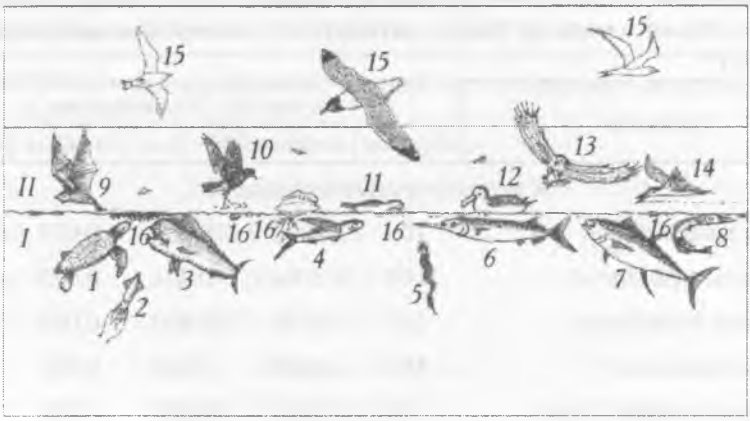
Организмы	Количество беспозвоночных, %				
	0—5 см	5—25 см	25—45 см	45—65 см	65—85 см
Круглосуточные нейстонты					
Pontella mediterranea	100	0,01	0,008	0,005	0,002
Anomalocera patersoni	100	0,04	0,004	0,020	0,001
Labidocera brunescens	100	0,50	0,060	0,005	0,001
Idothea stephenseni	100	0,02	0,040	0,009	0,000
Decapoda gen. sp. (zoea)	100	0,24	0,240	0,220	0,200
Brachiura gen. sp. (megalopa)	100	0,03	0,060	0,000	0,000
Ночные нейстонты					
Plaemon adspersus	100	0,09	0,01	0,01	0,00
Amphipoda gen. sp.	100	0,13	0,09	0,07	0,07
Cumacea gen. sp.	100	0,09	0,08	0,11	0,07

* Количество организмов в слое 0—5 см приравнено к 100%.

рить о существенной роли морского нейстона в эволюционном формировании экоморф (экоморфогенезе), развитии поведенческих реакций (этологии) и видообразовании (эволюции).

Специфический биотоп нейстона с его обитателями, эволюционно возникший в результате действия естественного механизма поступления веществ и энергии на поверхность пелагиали, подчинен, как и все в природе, закону сохранения массы и энергии. Расход веществ и энергии в нейстали осуществляется за счет: а) ухода в толщу воды и на дно подросших личинок беспозвоночных и рыб, завершивших нейстонную фазу своего онтогенеза, б) ухода в толщу воды и на дно циркадных вертикальных мигрантов, в) выедания нейстонтов беспозвоночными, рыбами и другими консументами. Трофические связи в нейстали схематически изображены на рисунке 3.

На протяжении последних десятилетий в нейстали, особенно в прибрежных и шельфовых водах морей и океанов, отмечены частые случаи аккумулирования различных поверхностно-активных загрязнителей. Это приводит к снижению численности нейстонтов на порядки величин и отражается на соответствующих популяциях взрослых особей, населяющих не только приповерхностный биотоп, но также толщу воды и дно. В результате такого загрязнения в Черном море, прежде всего в его северо-западной части, в 1980—1990-х годах численность понтеллид, крабов и других десятиногих ракообразных, рыб из семейств Callionymidae, Belonidae, Mugilidae, Mullidae, Soleidae и других опустилась до угрожающих значений [15—17, 40, 63, 69]. В последующие годы, в результате снижения антропогенного давления на



3. Некоторые внешние потребители нейстона из водной (I) и воздушной (II) сред [23]: *1* — морская черепаха (*Caretta caretta*); *2* — кальмары (Oegopsida); *3* — корифены (*Coryphaena*); *4* — летучие рыбы (Exocoetidae); *5* — организмы бентогипонейстона; *6* — полурыловые (Hemirhamphidae); *7* — желтоперый тунец (*Thunnus albacores*); *8* — сарганы (Belonidae); *9* — летучие мыши-рыболовы (Noctilionidae); *10* — качурки (Hydrobatidae); *11* — глупыши (*Fulmarus*); *12* — альбатросы (Diomedea); *13* — орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*); *14* — водорезы (Rhynchopidae); *15* — чайки, крачки (Laridae); *16* — организмы нейстона. Масштабы не соблюдены.

море, эти популяции начали медленно восстанавливаться [66]. Мониторинг нейстали и населяющих ее нейстонтов — надежный метод определения состояния морской экосистемы на ранних стадиях ее изменений.

Единственное место на Земле, где соприкасаются и взаимодействуют все три биоцикла планеты — море, суша и внутренние воды — расположено на берегах морей и океанов. При этом только у линии уреза воды сходятся области нейстали, бентали и пелагиали. С целью дальнейшей разработки концепции контурной структуры гидросферы интересно было выяснить, что происходит здесь с живыми организмами? Как ни парадоксально это звучит, при всей доступности берега для исследований, его биология и экология изучены в гораздо меньшей степени, чем биология и экология нейстали, пелагиали и бентали открытых вод [22]. Объяснить это можно, учитывая опять-таки традиционно сложившуюся океанологическую парадигму — преобладающую систему методологических подходов в современной океанологии.

Псаммоконтур. Волны прибоя развивают огромную кинетическую энергию, которая расходуется на раздробление горных пород, перемещение наносов и их сортировку [30]. В результате образуется самая большая в Мировом океане по суммарной поверхности площадь раздела твердой и жидкой фаз — граница «вода — измельченное твердое вещество», а в контексте концепции контурных биотопов — псаммоконтур морей и океанов. Его образно называют самым крупным механохимическим «предприятием» на планете [1]. Однако значение этого «предприятия» для живых существ пока не выяснено. Здесь же размещается область интенсивного гетерогенного

катализа, экологическое значение которого для живых организмов также не исследовано.

В геологическом отношении песок представляет собой рыхлую осадочную горную породу, сложенную из угловатых или окатанных обломков размером от 0,01 до 2,0 мм (по другим источникам, от 0,05 до 2,0 мм). Эти размерные характеристики песчинок сохраняются на берегах всех морей и океанов Земли. Пески однородного размерного состава в природе встречаются редко, чаще они содержат примеси мелких (алевритовых и глинистых) частиц. При каждом волнении происходит сортировка частиц по крупности, и самые мелкие из них уносятся в море, за пределы зоны действия волн. Размер песчинок определяет размеры пор между ними, так называемых интерстициальных полостей, заполненных водой с частицами детрита, в которой обитают различные мелкие организмы [21].

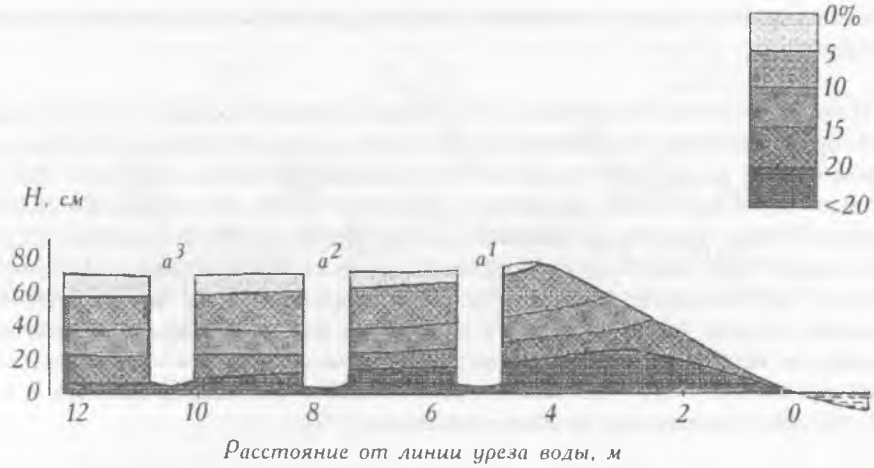
На берег постоянно воздействует прибой, который усиливается по мере увеличения высоты волн. Морская вода с растворенными и взвешенными веществами и существами накатывается на пляжи, часть ее проникает в интерстициальные полости, остальная откатывается обратно и движение продолжается. Уровень интерстициальных вод в пляже выше уровня моря, что обусловлено силами поверхностного натяжения и явлением капиллярного лифта (рис. 4).

Аналогичным образом в теле пляжа распределяются соленость, кислород, биогенные вещества и другие характеристики интерстициальных вод. Их соленость отражает динамическое равновесие между морской водой в набегающей волне и пресной, которая просачивается со стороны суши и поступает с атмосферными осадками. Интерстициальная вода заметно отличается от морской на данном участке побережья по важным для живых существ гидрохимическим характеристикам (табл. 5). В литературе встречается термин «интерстициальная химия» [49].

Прямым следствием гидрохимических особенностей интерстициальной воды логично считать ее биологическое своеобразие, в частности, некоторые виды одноклеточных водорослей, простейших и бактерий находят здесь особенно благоприятные условия для развития (табл. 6). Существует мнение, что интерстициаль песчаных пляжей представляет собой наиболее благоприятную среду для самых мелких гидробионтов по сравнению с другими биотопами моря [33].

Однако песчаный пляж, точнее его интерстициальные полости, не может загружаться морской водой бесконечно. Загрузка должна уравновешиваться разгрузкой, так же как и в случае с нейсталью.

Часть детрита и живых существ поедается такими специализированными псаммобионтами, как двустворчатый моллюск *Donacilla cornea*, полихета *Ophelia bicornis*, бокоплав *Pontogammarus maeoticus*. В других морях в псаммоконтуре обитает ряд викарирующих видов крупных беспозвоночных. Их, в свою очередь, поедают кулики и другие птицы, зондирующие клювами псевдолитораль [66]. Однако основная часть воды и мелких частиц и орга-



4. Распределение интерстициальных вод в песчаном пляже (% массы песка) и шурфы для накопления интерстициальных вод с их обитателями [21].

5. Химические характеристики интерстициальной воды песчаного пляжа северо-западного побережья и прилегающего участка Черного моря [21]

Показатели, мкг· $л^{-1}$	Интерстициальная вода	Морская вода
$P—PO_4$	138,20	53,67
$N—NO_2$	142,71	9,96
$N—NO_3$	1661,50	11,61

низмов, которые размножились в благоприятных условиях интерстициальных полостей, должна покидать их, освобождая место для новых поступлений. Как это может осуществляться? Прямых сведений на этот счет у автора нет. По ряду косвенных признаков можно высказать следующее предположение. Под напором набегающих волн избыточная интерстициальная вода песчаного пляжа вместе с содержащимися ней веществами и существами постоянно вытекает (сочится, разгружается) в области псевдолиторали и верхней сублиторали вдоль линии уреза воды. Здесь образуется биотоп, изобилующий частицами детрита, различными спорами, цистами, бактериями, одноклеточными растениями и животными, а также мелкими беспозвоночными, которые накопились, сохранились и размножились во время пребывания в благоприятных условиях интерстициальных полостей псаммоконтура моря.

Косвенными доказательствами этого процесса может служить высокая численность таких амфипод, как *Pontogammarus maeoticus*, которых местами (например, на псаммоконтуре Азовского моря) добывают в промышленных масштабах, массовые десятиногие ракообразные р. *Emerita* псаммоконтура тропических морей [48] и др. Еще одним подтверждением высказанного предположения можно считать устойчивое сосредоточение мальков подавляющего большинства рыб именно у линии уреза воды. Даже мальки кефа-

6. Содержание живых организмов в интерстициальной воде песчаного пляжа северо-западного побережья и прилегающего участка Черного моря [21]

Гидробионты	Интерстициальная вода	Морская вода
Диатомовые планктонные водоросли (всего)	258,144	686,000
Sceletonema costatum	250,200	680,000
Cyclotella caspia	1,986	3,000
Thalassiosira parva	1,986	0
Диатомовые бентические водоросли (всего)	5,957	0
Динофлагелляты		
Prorocentrum micans	1,493	0
Heterocapsa triquetra	7,943	0
Katodinium sp., цисты	21,842	0
Зеленые планктонные водоросли (всего)	55,151	6,000
Синезеленые планктонные водоросли	65,907	0
Эвгленовые планктонные водоросли	0,000	6,000
Collembola gen. sp.	18,173	0
Бактерии сапрофитные	6,500	20,000

лей, икра которых развивается в нейстали открытых участков моря, при достижении длины 4—5 мм устремляются к берегу и следуют вдоль него в поисках наиболее удобных мест для длительного нагула [66, 67].

Амфиподы сем. Talitridae (родов *Orchestia, Talitrus, Talorchestia*) обитают на берегу в выбросах морских трав, водорослей и беспозвоночных, остатками которых они питаются. На песчаных пляжах теплых морей обитают многие виды крабов (*Ocypode, Uca, Sesarma, Birgus*), которые роют в песке норы и питаются амфиподами, растениями, органическими остатками на поверхности песка, даже мелкими птицами, которых ловят виды, способные к быстрому бегу (*Ocypode*), На период размножения все они обязательно возвращаются в море [17].

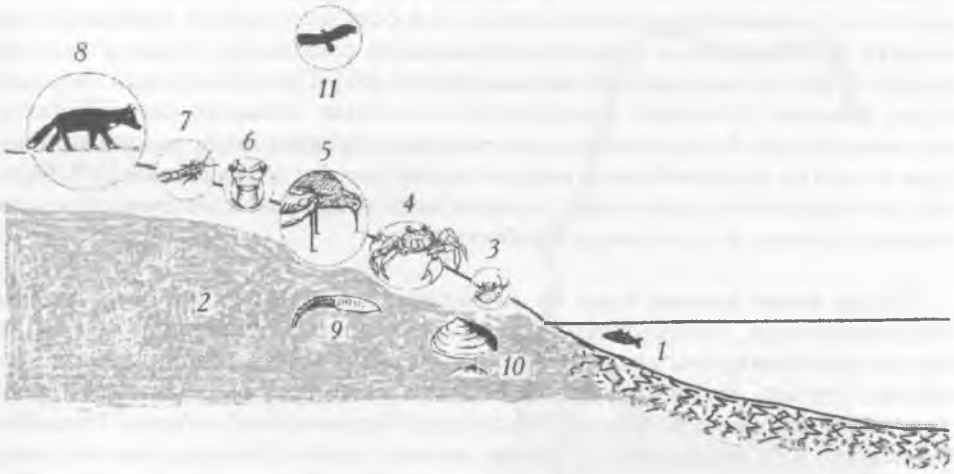
Характерен нерест атерины-груниона (*Leuresthes tenuis*) у песчаных берегов Калифорнии. В период наиболее высоких (сизигийных) приливов эти рыбы подходят ночью к самому берегу и откладывают икру (не имеющую липких нитей на оболочках, как у других видов семейства) у верхней кромки достижения волн, зарывая ее во влажный песок на глубину до 15 см. Отнерестившиеся рыбы уходят в море, а икринки развиваются во влажном песке вплоть до следующего сизигийного прилива. Личинки выклевываются через несколько минут после того, как новая сизигийная волна достигает

кладки икры. Нерест этой небольшой (длиной 19—20 см) рыбы строго привязан к фазам луны и происходит с марта по сентябрь через один-два дня после новолуния или полнолуния [51]. В чем заключается экологическая целесообразность такого специфического нерестового поведения груниона — не вполне ясно. При наличии больших участков песчаных мелководий, постоянно покрытых водой, откладывание икры на песчаном пляже, у верхней границы прилива, на первый взгляд, нецелесообразно, учитывая хотя бы то, что многие животные заняты поиском пищи именно здесь. Возможно, на пляже хищников меньше, чем в верхней сублиторали, или рыбу привлекают сюда стимулирующие свойства интерстициальной воды и пены? В этой связи возникает еще один вопрос: почему такое своеобразное поведение рыб этого вида отмечено только у берегов Калифорнии? Как бы там ни было, нерест груниона — еще одно свидетельство в пользу привлекательности псаммоконтура для морских организмов.

На поверхности песчаных пляжей встречаются многочисленные аэробионты из числа насекомых, питающихся гидробионтами и их остатками. Прибрежная уховертка *Labidura riparia* потребляет детрит, а дневной хищник жук *Cicindella hybrida* поедает бокоплавов. Другой жук *Eurinebria complanata* — ночной хищник, питается амфиподами *Talitrus saltator*. Такой же образ жизни ведут жуки родов *Broscus* и *Scarites*. Жужелица *Bembidion laterale* охотится на амфипод р. *Corophium* и личинок мух сем. Dolichopodidae, а жук р. *Dyschirius* предпочитает нематод [17]. Многие галофильные двукрылые (*Fucelia, Caelopa, Thoracochaetra*) откладывают яйца в морских выбросах [4]. В состав интерстициальной фауны песчаных пляжей входит также ряд пресноводных и почвенных организмов, в частности ногохвостки *Collembola*.

Среди наземных позвоночных песчаных пляжей морей, океанов, а также солоноватых и пресных вод особенно многочисленны птицы, образующие в этой богатой кормом зоне крупные колонии. Это представители родов *Larus*, *Sterna*, *Hydropogne*, *Haematopus*, *Arenaria* и *Charadrius*. Большинство из них питается псаммофильными беспозвоночными, мелкой рыбой, но встречаются и специализированные нейстофаги — водорезы (Rhynchopidae), чеграва (*Hydropogne*) и шилоклювка (*Recurvirostra*). Трофические связи в биотопе псаммоконтура моря изображены на рисунке 5.

В нормальном экологическом состоянии псаммоконтур морей и океанов — самый крупный в мире питомник для молоди рыб и многих других морских организмов, однако он утрачивает эту важную биосферную функцию при загрязнении. Оно может быть вызвано поступлением частиц почвы и глины, закупоривающих интерстициальные полости, или токсических веществ, опасных для живых организмов. Практически любое освоение прибрежной зоны для различных хозяйственных нужд означает ослабление или исключение из круговорота веществ данного участка псаммоконтура и нарушение его ответственной функции в биосфере. В этой связи особую тревогу вызывают участившиеся попытки застройки кос (баров) лиманов северо-западного побережья Черного моря — кос Тузловских лиманов, Будакского лимана и др. Застройка может серьезно сократить участие этих природных образований в процессах естественного воспроизводства биологи-



5. Схема трофических связей у морского псаммоконтура: *1* — море, мальки рыб у линии уреза воды; *2* — влажный песок, микроорганизмы (бактерии, одноклеточные водоросли, грибы, мелкие беспозвоночные) в интерстициальных полостях; *3* — бокоплавы (*Pontogammarus* и др.), десятиногие раки (*Emerita* и др.), поедающие детрит и мелкие организмы; *4* — крабы-привидения *Ocypode* и др., поедающие бокоплавов и др.; *5* — кулики, зондирующие клювами песок в поисках пищи; *6* — хищный жук скакун-межняк (*Cicindella*), поедающий бокоплавов; *7* — прибрежная уховертка *Labidura riparia*, поедающая органические остатки; *8* — млекопитающие: лисица, енотовидная собака, шакал, кабан, пятнистый олень и др., поедающие штормовые выбросы; *9* — полихета *Ophelia*, поедающая детрит и организмы интерстициали; *10* — двустворка *Donacilla cornea*, фильтрующая интерстициальную воду и поедающая органическую взвесь; *11* — индюковый гриф *Cathatres aura*, поедающий рыб и других животных из штормовых выбросов. Масштабы не соблюдены.

ческих ресурсов моря, сохранении биологического разнообразия и поддержании рекреационной ценности регионов.

Литоконтур. Граница «вода — каменистый берег и дно» — еще один контурный биотоп морей, океанов и пресных вод со своим сообществом организмов. Как субстрат для прикрепления, природный литоконтур характеризуется особым минеральным составом, твердостью, текстурой и другими свойствами, от которых зависит успешность поселения на нем или в нем живых организмов и их сообществ. Описанию гидробионтов и биоценозов твердых грунтов посвящена обширная литература [17, 20, 50, 63 и др.].

Биоценозы прибрежных камней, скал и коралловых рифов, как правило, наиболее разнообразны по видовому составу и значительны по биомассе и продукции в морях и океанах. Это объясняют разнообразием условий существования у берегов, динамикой водных масс, флотацией и другими физико-химическими процессами, создающими благоприятные условия для прикрепленных водорослей, беспозвоночных и рыб. Среди гетеротрофных организмов здесь преобладают фильтраторы, детритофаги и хищники.

На примере биоценозов литоконтура хорошо прослеживается проникновение гидробионтов в воздушную среду и аэробионтов — в морскую. Например, многие водоросли адаптированы к жизни на каменистой супрали-

торали, где они прикрепляются к надводной поверхности скал и лишь периодически смачиваются морской водой, а в остальное время пребывают на воздухе в высушенном (мумифицированном) состоянии, образуя темный покров, образно называемый черным поясом [52]. При смачивании «черный пояс» оживает и из него произрастают зеленые (*Urospora penicilliformis*), красные (*Bangia fuscopurpurea*), синезеленые (*Lyngbia lutea*) макроскопические и многие одноклеточные водоросли, мелкие беспозвоночные [19]. Причем это оживление происходит и после нескольких лет хранения образцов «черного пояса» в сухом виде в лаборатории.

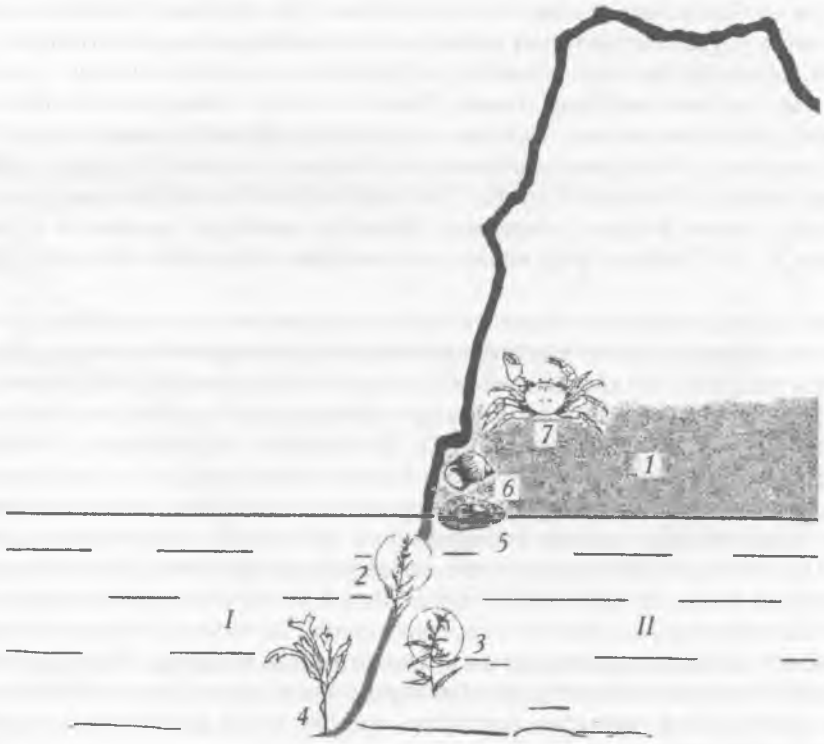
Также выше уровня воды на литоконтуре моря обитают многие виды беспозвоночных, питающиеся водорослями супралиторали. Среди них — брюхоногие моллюски родов *Patella*, *Melaraphe* (в Черном море), а также *Patelloida*, *Helcion*, *Siphonaria*, *Fissurella*, *Pupillaea* (в тропических морях), усоногие ракообразные *Balanus*, *Chthamalus* (в Черном море) и *Lepas*, *Tetraclita*, *Octomeris*, *Notomegabalanus* (в других морях), крабы *Pachygrapsus marmoratus* (в Черном море) и *Grapsus*, *Plagusia* и др. Еще больше видов крабов обитает на подводной части литоконтура.

Некоторые виды равноногих раков литоконтура (например, *Halophiloscia* и *Ligia*) большую часть жизни проводят на суше и возвращаются в море только на период размножения. Наблюдаются и обратные случаи, когда на литоконтур проникают виды наземной флоры и фауны, например лишайники родов *Verrucaria*, *Lithoicea*, *Teloshistes*, *Lichina* и другие, выдерживающие морскую воду с соленостью не более 30—34‰ [58]. К тому же, лишайники очень чувствительные индикаторы качества морской среды, но сведений о них крайне мало.

На литоконтуре обитают личинки двукрылых (виды родов *Clunio* и *Chironomus*). Пауки р. *Frigone* прикрепляют к камням свои непромокаемые яйцевые мешки [55], здесь же обычны ногохвостки *Anurida maritima*, клопы сем. Saldidae и другие насекомые. С макрофитами литоконтура связаны многие виды клещей — как морских (Halacarae), так и пресноводных (Hydrochnellae), последние встречаются преимущественно в опресненных частях моря.

Многие виды рыб откладывают на камни и водоросли икру, это бычки (Gobiidae), морские собачки (Blenniidae), присоски (Gobiesocidae), атерины (Atherinidae), сарганы (Belonidae) и др. Здесь же они находят пищу. Молодь кефалей (лобана, остроноса, сингиля) соскабливает нижней челюстью налет одноклеточных водорослей и других мелких организмов, образующийся на поверхности камней.

Приведенные примеры показывают, как на литоконтуре — одном из контурных биотопов моря, также отчетливо проявляется известный в общей экологии «краевой эффект». Этот эффект подчеркивается присутствием колоний морских птиц на прибрежных скалах («птичьи базары») и скоплений (лежбищ) на берегу многих видов ластоногих млекопитающих, что связано с обилием пищи у литоконтура моря. Трофические связи в биотопе литоконтура моря изображены на рисунке 6.



6. Схема трофических связей у морского литоконтура: I — море; II — подводная часть камней и скал, покрытая микрообрастаниями (бактериями, одноклеточными водорослями, грибами, мелкими беспозвоночными, крупными прикрепленными водорослями, моллюсками, ракообразными и др.); *1* — надводная зона «черного пояса» — обезвоженные водоросли, грибы и мелкие беспозвоночные, способные оживать при смачивании; *2* — бурая прикрепленная водоросль *Cystoseira*, *3* — красная прикрепленная водоросль *Phyllophora*; *4* — бурая прикрепленная водоросль *Sargassum*; *5* — брюхоногие моллюски *Patella, Helcion, Siphonaria* и др., соскабливающие органическую пленку, покрывающую подводную и надводную поверхность камней и скал; *6* — брюхоногие моллюски *Littorina, Tricolia, Nodilittorina* и др., питающие таким же образом; *7* — крабы *Pachygrapsus* и др., поедающие животных литоконтура. Масштабы организмов не соблюдены.

Биоконтур. В контексте концепции контурной структуры гидросферы еще недостаточно исследован биоконтур — поверхность тел живых существ, служащая субстратом для прикрепления и поселения других видов. Высказаны оригинальные мысли о структуре жизни в гидросфере [41] и описаны многочисленные случаи обнаружения гидробионтов, прикрепленных к другим водным организмам. Обстоятельно изучены контурные сообщества пресноводных организмов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС [42]. В морской среде такие специальные исследования еще не проводились. Известно, что галобионты укрепляются и успешно растут на водорослях, морских травах, беспозвоночных, рыбах, млекопитающих. Поэтому, детализируя, можно различать фитоконтур, зооконтур, малакоконтур, карциноконтур и т. п., однако не следует, видимо, привлекать новые сущности без крайней на то необходимости.

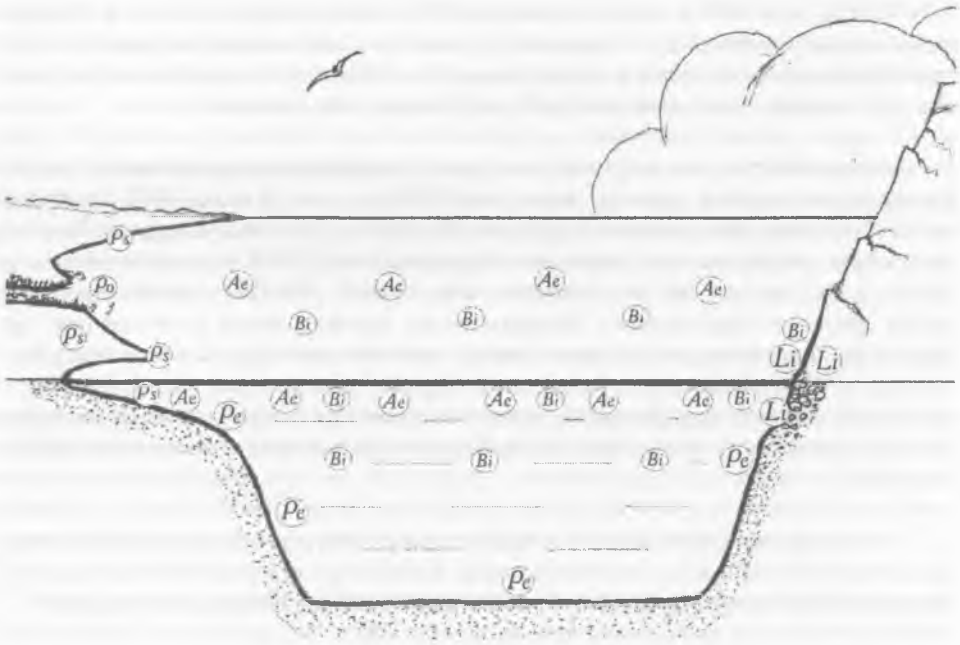
Для Черного моря описаны многочисленные примеры поселения гидробионтов на поверхности морских организмов. На талломах бурой водоросли цистозиры (*Cystoseira barbata*) встречаются различные виды нитчатых водорослей, домики сидячих полихет р. *Spirorbis*, колонии мшанок, усоногие раки. На листьях морской травы *Zostera marina* обнаружены поселения мшанок, усоногих раков р. *Balanus* и полихет р. *Spirorbis*, они, а также сидячие полихеты р. *Pomatoceros* обычны на створках мидии. Однажды, обнаружив на панцире травяного краба *Carcinus aestuarii* зеленую водоросль *Enteromorpha*, рачка *Balanus*, полихету *Spirorbis*, молодую мидию и колонию мшанок, И. И. Пузанов [43] назвал это явление «бродячим биоценозом».

При исследовании эпибионтов живых организмов в Атлантическом океане на клетках диатомеи *Rhabdonema adriaticum*, помимо бактерий *Saprospira*, были найдены мелкие диатомеи *Cocconeis* и *Amphora* [60]. На зеленых водорослях *Monostroma, Ulva* и *Cladophora* обнаружены различные бактерии и диатомовые, на красных водорослях *Rhodimenia*, *Polysiphonia*, *Corallina* и *Chondrus* — бактерии, диатомовые и синезеленые водоросли, на бурых водорослях *Laminaria*, *Ascophyllum* и *Sargassum* — бактерии, нитчатые синезеленые, диатомовые, мшанка *Membranipora tuberculata*, гидроиды и простейшие. При этом автор отмечает, что поверхность талломов бурой водоросли *A. nodosum*, выделяющей ингибиторы, лишь в незначительной степени обрастает бактериями. На талломе бурой водоросли *Laminaria* в большом количестве обнаружены колонии мшанки *Electra pilosa*, гидроид *Obelia seniculata*, сувойки *Vorticella*, солнечники и бактерии. На морских травах *Zostera*, *Thalassia*, *Syringodium* найдены бактерии, многие виды диатомовых, простейших и других мелких организмов.

Интенсивно обрастают также поверхности животных. На кладке гастроподы *Nucella lapillis* обнаружено множество нитчатых водорослей, бактерий и диатомовых, на полихете *Harmothoe imbricata* — диатомовые, простейшие, колонии мшанок, на губках и морской звезде *Asterias forbesi* — бактерии и простейшие. На панцирях ракообразных *Hommarus americanus*, *Caprella geometrica*, *Jassa falcata* обнаружены бактерии, диатомовые, мшанки и многие другие эпибионты. Широко известны случаи поселения гидробионтов на внешних покровах рыб, морских черепах и китообразных. Интересно, что на кладке донной икры подкаменщика *Myoxocephalus aeneus* эпибионты не обнаружены. Возможно, это также связано с действием неких веществ, выделяемых рыбой.

Таким образом, биоконтур характеризуется не только свойствами самого живого субстрата, но и его внешними метаболитами. Эти вещества могут действовать как аттрактанты или репелленты, стимуляторы или ингибиторы и т. д., что так или иначе отражается на эпибионтах. Эти вопросы изучает биохимическая экология [45].

Точных данных о размерах (площади) биоконтура в водной среде нет. Предпринимались робкие попытки обозначить порядок величин биологической поверхности массовых организмов пелагиали Черного моря [20], есть более точные сведения о поверхности популяций макрофитов [32]. Можно лишь предположить, что она весьма велика.



7. Распределение контурных биотопов и их сообществ в морской среде (схема): *Ae* — аэроконтур; *Ps* — псаммоконтур; *Li* — литоконтур; *Pe* — пелоконтур; *Po* — потамоконтур; *Bi* — биоконтур.

Потамоконтур. Еще один контурный биотоп образуется на границе морских и речных вод. В зависимости от сезона года, гидрологической обстановки и погоды контрастность границы «море — река» бывает разной. На поверхности моря эта граница может быть заметной в виде полосы шириной от одного-двух до нескольких метров на стыке водных масс различного цвета, обозначенной скоплениями пены, всевозможного плавника и организмов нейстона, плотность которых на порядки выше, чем на смежных участках пелагиали. Это объясняется, прежде всего, следствием конвергенции течений, приводящей к образованию здесь и промысловых скоплений рыб. Описано несколько случаев сосредоточения нейстонтов на потамоконтуре Черного моря [13].

В сентябре 1963 г. потамоконтур перед дельтой Дуная обозначался местами узкой полосой пены шириной около 0,25 м. В обловленном участке этой полосы длиной 2 м автор обнаружил 2 малька лобана (*Mugil cephalus*), 61 малек остроноса (*Liza saliens*), 3 морские иглы (*Syngnathus schmidti*), 117 760 особей характерной гипонейстонной понтеллиды *Pontella mediterranea*, 36 изопод *Idothea ostroumovi*, 39 личинок креветок и 4 мегалопы крабов. Нетрудно посчитать, что под 1 м^2 поверхности моря находилось более 200 000 крупных нейстонтов. Это на два-три порядка больше, чем на смежном участке морской пелагиали.

Четкие скопления нейстона образовывались в 1963 г. на гидрофронтах рек Кавказа — Кодори, Ингури, Риони. По наблюдениям В. П. Закутского

[28], 13 августа 1963 г. гидрофронт (потамоконтур) перед устьем р. Кодори имел ширину около 0,5 м. Вдоль него расположились морские птицы — буревестники, чайки, крачки, склевывавшие нейстон и наземных насекомых, которые также скапливаются здесь в большом количестве.

Обилие нейстонтов и других морских организмов на потамоконтуре наблюдалось в Черном море до середины 1970-х годов. В июле 1977 г., обойдя на НИС «Миклухо-Маклай» гидрофронты рек от Дуная на западе до Чорохи на востоке, экспедиция Одесского отделения ИнБЮМ с участием автора не обнаружила скоплений нейстонтов ни на одном участке потамоконтура. К этому времени загрязнение Черного моря, прежде всего стоками рек, достигло уровня, вызвавшего интенсивное «цветение» воды, наблюдались случаи придонной гипоксии и заморов, которые отразились и на потамоконтуре. Тем более, что содержание многих токсических веществ в морской пене, которая скапливается на гидрофронтах, на порядки выше, чем в пелагиали и бентали.

Как и другие контурные биотопы, потамоконтур вместе с его обитателями проявляет себя как чувствительный индикатор состояния морской экосистемы. Схема контурных биотопов и сообществ приведена на рисунке 7.

Заключение

Факты, подтверждающие контурную структуру гидросферы, с одной стороны, уточняют прежние представления о распределении жизни в морях, океанах и континентальных водах, а с другой — указывают на необходимость нового подхода при оценке состояния водных экосистем. По сложившейся традиции такая оценка морей и океанов в настоящее время проводится на основании обследования всего водоема, путем прокладки гидрографических разрезов и отбора проб на всех глубинах водной толщи и дна, то есть в самой консервативной среде обитания. Как утверждал В.И. Вернадский, водная толща и большие глубины (а это около 97—98% объема Мирового океана) с их относительно рассеянной жизнью и ослабленными биогеохимическими процессами длительное время сохраняются как области относительного покоя и стабильности. Не случайно там дожили до наших дней и некоторые виды, считавшиеся вымершими в прежние геологические периоды. Их называют «живыми ископаемыми».

Совсем по другому сценарию развиваются экологические процессы в контурных биотопах и сообществах. При изменении условий обитания здесь резко сокращается (или увеличивается) биологическое разнообразие и численность популяций контуробионтов, которые на протяжении всего жизненного цикла или на ранних стадиях онтогенеза развиваются преимущественно или исключительно в контурных биотопах. Многие из этих видов являются особенно чувствительными индикаторами (биоиндикаторами) качества водной среды. Их образно называют экологическими «дозорными».

Вдоль северо-западного побережья Черного моря в течение 1980—2000 гг. практически исчезли популяции таких экологических «дозорных», как *Cystoseira*, *Spirorbis*, *Pomatoceros*, *Donacilla* и *Ophelia*, обитающих на литоконтуре и псаммоконтуре. При этом с исчезновением цистозиры — доминанта растительных

сообществ литоконтура до конца 1970-х годов, исчезли ее эпифиты *Stilophora*, *Dilophus* и другие водоросли, а также все сообщество цистозиры. В настоящее время на Крымском побережье сохранились два вида цистозиры. Также чувствительны к эвтрофикации виды филлофоры (*Phyllophora*) и саргассума (*Sargassum*). Последние встречаются на Анатолийском побережье Черного моря. В его северо-западной части на порядки сократилась численность Pontellidae, личинок Decapoda, личинок и молоди *Mugil*, *Liza*, *Solea*, *Belone*, *Callionymus* и других рыб, обитающих в нейстали [15—18, 21, 40, 65]. Она начала медленно восстанавливаться лишь после 2000 г., когда антропогенный стресс на Черное море стал несколько убывать [67, 68]. Однако цистозира еще не появилась.

Существуют две главные конечные цели, которым подчинены все океанологические (океанографические) исследования: изучение жизни моря или другого района Мирового океана и оценка состояния морской экосистемы. В первом случае необходимо и оправданно исследовать весь водоем, всю толщу пелагиали и все участки бентали, потому что жизнь — вездесуща. Во втором случае (проведение экологического мониторинга) стоит сосредоточиться на контурных биотопах и сообществах, где происходят наиболее существенные изменения.

Базы данных, созданные по результатам исследований для достижения первой главной цели, лишь на 2—3% пригодны для заключений по второй главной цели. Базы данных по состоянию контурных биотопов и сообществ, необходимых для проведения экологического мониторинга и постановки «диагноза» морских экосистем, еще предстоит создать. Таков экологический императив.

Поскольку «сгущение жизни» (выражение В. И. Вернадского) в контурных биотопах — явление глобальное, использование экологических «дозорных» из числа контуробионтов в экологическом мониторинге возможно и эффективно также в других морях и океанах. При этом в тропических и субтропических водах с нормальной соленостью разнообразие видов контуробионтов значительно выше, чем в более изученном в этом отношении, но опресненном Черном море.

Представляется отнюдь не случайным то обстоятельство, что концепция контурной структуры гидросферы зародилась и получила развитие на Черном море, причем именно в НАН Украины, первым президентом которой был В. И. Вернадский. На протяжении многих лет работа проводилась в одном и том же научном коллективе, менявшем свое название. Вначале это была Одесская биологическая станция Института гидробиологии АН УССР, затем Одесское отделение и Одесский филиал ИнБЮМ АН УССР, наконец — Институт морской биологии НАН Украины. Концепция контурных биотопов и сообществ — тоже частица биосферологии, или «вернадскологии», как в мире называют учение великого натуралиста.

**

Розвиток наукової спадщини В. І. Вернадського показав, що у його «плівках життя» на межі гідросфери з атмосферою та літосферою, у яких відбуваються основні біогеохімічні процеси у біосфері Землі, розташовані ще більш тонкі утворення — контурні біотопи, заселені специфічними угрупованнями організмів — контуробіонтів. Вони відіграють ключову роль у функціонуванні водних екосистем і розмноженні гідробіонтів та відрізняються високою чутливістю до зовнішніх факторів.

Їх названо екологічними «вартовими» і запропоновано використовувати в екологічному моніторингу.

**

Development of the scientific heritage of V. I. Vernadsky showed that in his «life films» on the borders of the hydrosphere with the atmosphere and lithosphere, where the basic biogeochemical processes in the Earth occurs, more thin structures are located — contour biotopes with specific communities of contourobionts, which play a key role in the functioning of aquatic ecosystems, in the reproduction of hydrobionts and are highly sensitive to external impacts. They are called «environmental sentinels» and were proposed to be used in the environmental monitoring.

**

1. *Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Д., Хайлов К.М.* Океан. Активные поверхности и жизнь. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979. — 192 с.
2. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. — М.: Наука, 1965. — 175 с.
3. *Вернадский В.И.* Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. Кн. 2. — М.: Наука, 1977. — 192 с.
4. *Вылканов А., Маринов Т.* Зообентос // Черное море. — Л.: Гидрометеоиздат, 1983. — С. 194—205.
5. *Голубець М.А.* Плівка життя. — Львів: Поллі, 1997. — 185 с.
6. *Дедю И.И.* Экологический энциклопедический словарь. — Кишинев: Молд. сов. энцикл., 1989. — 406 с.
7. *Зайцев Ю.П.* Про існування біоценозу нейстону в морській пелагіалі // Наук. зап. Одеськ. біол. ст. — 1960. — № 2. — С. 37—42.
8. *Зайцев Ю.П.* Приповерхностный пелагический биоценоз Черного моря // Зоол. журн. — 1961. — Т. 40, № 6. — С. 818—826.
9. *Зайцев Ю.П.* На рубеже двух океанов // Природа. — 1963. — С. 27—31.
10. *Зайцев Ю.П.* Гипонейстон Черного моря и его значение: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — Одесса, 1964. — 22 с.
11. *Зайцев Ю.П.* Проблемы морской нейстонологии // Гидробиол. журн. — 1967. — Т. 3, № 5. — С. 117—125.
12. *Зайцев Ю.П.* Нейстон // Там же. — 1970. — Т. 6, № 4. — С. 116—126.
13. *Зайцев Ю.П.* Морская нейстонология. — Киев: Наук. думка, 1970. — 264 с.
14. *Зайцев Ю.П.* Жизнь морской поверхности. — Киев: Наук. думка, 1974. — 112 с.
15. *Зайцев Ю.П.* Некоторые рекомендации по охране и рациональному использованию биологических и других ресурсов северо-западного шельфа Черного моря в современных условиях // Биология моря. — Киев, 1977. — Вып. 43. — С. 84—85.
16. *Зайцев Ю.П.* Влияние антропогенных факторов на биологию северо-западного шельфа Черного моря // Системный анализ и моделирование процессов на шельфе Черного моря. — Севастополь, 1983. — С. 19—28.
17. *Зайцев Ю.П.* Маргинальные экотоны в мониторинге океана // Комплексный глобальный мониторинг состояния биосферы: Тр. 3-го Междунар.

симпоз., Ташкент, 13—20 окт. 1985 г. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — Т. 3. — С. 33—44.
18. *Зайцев Ю.П.* Самое синее в мире. — Нью-Йорк: Изд-во ООН, 1998. — XVII + 142 с.
19. *Зайцев Ю.П.* Введение в экологию Черного моря. — Одесса: Эвен, 2006. — 224 с.
20. *Зайцев Ю.П.* Чорноморські береги України. — К.: Академперіодика, 2008. — 242 с.
21. *Зайцев Ю.П.* Сообщество микроорганизмов поровых вод песчаных пляжей Черного моря. Факты и гипотезы // Мікробіологія і біотехнологія. — 2008. — № 2. — С. 8—19.
22. *Зайцев Ю.П.* Аккумуляция вещества и энергии на поверхности пелагиали и эффект морского нейстона // Мор. екол. журн. — 2012. — Т. 11, № 1. — С. 5—23.
23. *Зайцев Ю.П. Александров Б.Г., Копытина Н.И. и др.* Нейстон // Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. — Киев: Наук. думка, 2006. — С. 125—145.
24. *Зайцев Ю.П., Поликарпов Г.Г.* Вопросы радиоэкологии гипонейстона // Океанология. — 1964. — Т. 4, вып. 3. — С. 423—430.
25. *Зайцев Ю.П., Поликарпов Г.Г.* Новые проблемы биологии океана // Вестн. АН СССР. — 1967. — № 1. — С. 74.
26. *Зайцев Ю.П., Поликарпов Г.Г.* Экологические процессы в критических зонах Черного моря (синтез результатов двух направлений исследований с середины XX до начала XXI века // Мор. екол. журн. — 2002. — Т. 1, вип. 1. — С. 33—55.
27. *Зайцев Ю.П., Полищук Л.Н., Настенко Е.В. и др.* Сверхвысокие концентрации ночесветки *Noctiluca miliaris* в нейстали Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1988. — № 10. — С. 67—69.
28. *Закутский В.П.* Бентогипонейстон Черного и Азовского морей // Экологическая биогеография контактных зон моря. — Киев: Наук. думка, 1968. — С. 71—90.
29. *Зелезинская Л.М.* «Дождь» и «антидождь» трупов гидробионтов в море // Биологические проблемы океанографии южных морей. — Киев.: Наук. думка, 1969. — С. 125—127.
30. *Зенкович В.П.* Берега Черного и Азовского морей. — М.: Гос. изд-во геогр. лит., 1958. — 374 с.
31. *Клейненберг С.Е.* Материалы к изучению питания дельфинов Черного моря // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. — 1936. — Т. 45, № 5. — С. 338—345.
32. *Миничева Г.Г.* Параметры поверхности макрофитов // Северо-западная часть Черного моря: биология и экология. — Киев: Наук. думка, 2006. — С. 214—223.
33. *Монченко В.И.* Свободноживущие циклопообразные копеподы Понто-Каспийского бассейна. — Киев: Наук. думка, 2003. — 350 с.
34. *Нестерова Д.А.* Фитонейстон западной части Черного моря // Гидробиол. журн. — 1980. — Т. 16, № 3. — С. 26—31.

35. *Патин С.А.* Химическое загрязнение и его влияние на гидробионтов // Океанология. Биология океана. Т. 2. Биологическая продуктивность океана. — М.: Наука, 1977. — С. 322—331.
36. *Патон Б.Є.* Велика Жовтнева соціалістична революція і науково-технічний прогрес // Доп. АН УРСР. Сер. Б. — 1967. — Т. 11. — С. 3—14.
37. *Поликарпов Г.Г.* Радиоэкология морских организмов. — М.: Атомиздат, 1964. — 295 с.
38. *Поликарпов Г.Г., Зайцев Ю.П.* Горизонты и стратегия поиска в морской биологии. — Киев: Наук. думка, 1969. — 31 с.
39. *Поликарпов Г.Г., Зайцев Ю.П.* Экологические процессы и охрана живой природы моря // Радиоэкологические исследования Средиземного моря. — Киев: Наук. думка, 1970. — С. 193—197.
40. *Полищук Л.Н.* Вертикальное микрораспределение массовых форм зоопланктона у поверхности южных морей СССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Севастополь, 1972. — 26 с.
41. *Протасов А.А.* Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии. — Киев: Академпериодика, 2011. — 704 с.
42. *Протасов А.А., Силаева А.А.* Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС. — Киев, 2012. — 273 с.
43. *Пузанов И.И.* Бродячий біоценоз. — Природа. — 1954. — № 12. — С. 115—116.
44. *Романенко В.Д.* Основи гідроекології. — К.: Обереги, 2001. — 728 с.
45. *Телитченко М.М., Остроумов С.А.* Введение в проблемы биохимической экологии. — М.: Наука, 1990. — 288 с.
46. *Цыбань А.В.* Бактерионейстон — первое звено нейстонных организмов // Биологичекие проблемы океанографии южных морей. — Киев: Наук. думка, 1968. — С. 106—108.
47. *Цыбань А.В.* Бактерионейстон и бактериопланктон шельфовой области Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1970. — 274 с.
48. *Чиликина Н.С.* Изучение биологического действия морской пены // Биологические проблемы океанографии южных морей. — Киев: Наук. думка, 1969. — С. 128—129.
49. *Băcescu M.C.* Fauna Republicii Socialiste România. Crustacea. — Vol. IV, fasc. 9. — Bucureşti: Edit. Acad. RSR, 1967. — 353 p.
50. *Boaden P.J.S., Seed R.* An intoduction to coastal ecology. — Glasgow; London: Blackie, 1985. — 218 p.
51. *Breder C.M., Rosen D.E.* Modes of reproduction in fishes. Publ. for the Amer. Museum of Natural History by the Natural History Press. — New York, 1966. — 941 p.
52. *Carson R.* The edge of the sea. — Boston: Houghton Mifflin Co., 1979. — 276 p.
53. *Champalbert G., Maquart-Moulin C.* Les percarides de l'hyponeuston nocturne du Golfe de Marseille. — Station Marine d'Endoume, Marseille, Cahiers de Biologie Marine. — 1970. — Vol. 11. — P. 20—28.

54. *GESAMP.* The Sea-Surface Microlayer and its role in Global Change. GESAMP Reports and Studies, N 59. — Geneva: WMO, 1995. — 76 p.
55. *Green J.* The biology of estuarine animals. — London: Sidgwick and Jackson, 1968. — 401 p.
56. *Hattori H., Yuki K., Zaitsev Yu.P., Motoda S.* A preliminary observation on the neuston in Suruga Bay // La mer. — 1983. — Vol. 21, N 1. — S. 11—20.
57. *MacIntyre F.* The top millimeter of the Ocean // Sci. Amer. — 1974. — Vol. 230, N 5. — P. 62—77.
58. *Perkins E.J.* The biology of estuaries and coastal waters. — New York: Acad. press, 1974. — 678 p.
59. *Polikarpov G.G.* Radioecology of aquatic organisms. — Amsterdam: Reinhold Book Division, 1966. — 314 p.
60. *Sieburth J.McN., Willis P.-J., Johnson K.M. et al.* Dissolved organic matter and heterotrophic microneuston in the surface microlayers of the North Atlantic. — Science. — 1976. — Vol. 194. — P. 1415—1418.
61. *Tsyban A.V.* Marine bacterioneuston // J. Oceanogr. Soc. Japan. — 1971. — Vol. 27, N 2. — P. 56—66.
62. *Zaitsev Yu.P.* La neustonologie marine: objet, methodes, realisations principales et problemes // Pelagos, Alger. — 1968. — Vol. 8, N 1. — P. 1—48.
63. *Zaitsev Yu.P.* Marine neustonology. — Washington: Springfield, 1971. — 207 p.
64. *Zaitsev Yu.P.* Contourobionts in ocean monitoring. Environmental monitoring and assessment // D. Reidel Publ. Comp. — 1986. — N 7. — P. 31—38.
65. *Zaitsev Yu.* Neuston of seas and oceans / Ed. by P. S. Liss, R. A. Duce // The Sea Surface and Global Change. — Cambridge: University press, 1997. — P. 371—382.
66. *Zaitsev Yu.* Littoral concentration of life in the Black Sea and coastal management requirements // J. Black Sea / Mediterranean Environment. — 2006. — Vol. 12, N 2. — P. 113—128.
67. *Zaitsev Yu.* An introduction to the Black Sea ecology. — Odessa: Smil press, 2008. — 228 p.
68. *Zaitsev Yu.* A key role of sandy beaches in the marine environment // J. Black Sea / Mediterranean Environmemt. — 2012. — Vol. 18, N 2. — P. 114—127.
69. *Zaitsev Yu.* Major accumulations of life and main «pain points» in the seas and oceans // J. Environ. Sci. Eng. — 2012. — A 1. — P. 886—897.
70. *Zaitsev Yu., Mamaev V.* Marine biological diversity in the Black Sea. A study of Change and Decline. — New York: United Nations Publ., 1997. — XV + 208 p.
71. *Zobell C.E.* Marine microbiology — Waltham: Cronica Botany Co., 1946. — 240 p.

Институт морской биологии НАН Украины, Одесса Поступила 05.08.14