



УДК: 574.4 (262.5)

Г. Г. Поликарпов, акад. НАН Украины, д. б. н., гл. н. с.

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ И СОЗДАВАЕМАЯ ЕЮ САМОЙ СЕБЕ ОБЛАСТЬ ЖИЗНИ В БАТИАЛИ ЧЁРНОГО МОРЯ

«Жизнь, живое вещество, как бы само создает себе область жизни.
Это – характерная организованность нашей планеты» (В. И. Вернадский, 1965. с 241)

В отличие от биогеоценозов (экосистем) суши, пресноводных водоёмов и морских вод окислительной зоны, состав и структура экстремального глубоководного биогеоценоза сероводородной (восстановительной) толщи и дна батиали Чёрного моря крайне специфичны. Его восстановительная среда считается аналогом таковой древнейшего первородного океана нашей планеты. В этом биогеоценозе *отсутствуют* кислород и свет; *обитают и размножаются* вирофаги – паразиты вирусов, бактериофаги – паразиты прокариотов, а также их хозяева анаэробы – прокариоты (археи и бактерии); *находятся полностью в латентном состоянии* осевшие в донные отложения споры **аллохтонных** аэробов с суши, из пресных водоёмов и из окислительного слоя морей; *не обнаружены свободноживущие живые животные, растения и микроорганизмы-аэробы*, которые бы осуществляли свой полный жизненный цикл развития, роста и размножения. С видами архей и анаэробных бактерий, а также вирусов в экстремальном биогеоценозе непосредственно связано формирование и поддержание ими специфической среды их обитания. В соответствии с идеей В. И. Вернадского, средообразующая роль живого вещества обеспечивает его выживание. В восстановительной среде экстремального биогеоценоза происходят масштабные биогеохимические и радиохемозологические процессы по изменению *физического состояния и химической формы* элементов и радионуклидов естественного и искусственного происхождения. Огромные биологические поверхности и крайне малые массы вирусов (при их гигантской концентрации в морской воде и осадках) и биохимического содержимого «взрываемых» ими инфицированных архей и бактерий в сероводородной зоне должны привлечь внимание к учёту потенциально большой роли этого *сорбционного физико-химического фактора* в распределении, миграции и круговороте химических и радиоактивных веществ в глубинах Чёрного моря. Рассмотрение широкого круга биологических процессов в его восстановительной зоне приводит к необходимости формирования в самом широком плане *экстремальной биологии* сероводородной толщи и дна котловины Чёрного моря на стыке с другими естественно-научными областями знания для комплексного изучения закономерностей функционирования этого крупного природного экстремального биогеоценоза.

Ключевые слова: глубоководная сероводородная зона, батиаль, Чёрное море, экстремальный биогеоценоз, экосистема, парадокс высокопитательной среды, живое вещество, вирофаги, бактериофаги, археи, бактерии, биогеоценозические парцеллы, радиоактивные и химические загрязнения, молисмология, биогеоценология, радиохемозология, экзобиология, экстремальная биология Чёрного моря.

Автор ставит своей целью обсудить концептуальную модель экстремального глубоководного биогеоценоза в сероводородной зоне Чёрного моря и ее значение для новых направлений и комплексного изучения экстремальной биологии сероводородных глубин этого моря.

Исходным материалом для построения и разработки названной модели послужили:

- Работы в области высокой потенциальной продуктивности восстановительных сероводородных вод глубин Чёрного моря для морских растений после контакта этих вод с атмосферой воздуха [12];
- Исследования по хронологии процесса радиоактивного и химического загрязнения донных отложений батиали Чёрного моря: радиоактивными веществами после глобальных испытаний атомно-

го оружия в открытых средах и после аварии на Чернобыльской АЭС, а также полихлорбифенилами – отходами промышленности, сельского хозяйства и флота [22];

- Обнаружение в илах батиаля, для которых был изучен их геологический возраст, живых покоящихся аллохтонных спор аэробов – наземных грибов, пресноводных водорослей и морских водорослей [6];
- Открытие явления метановых сипов и изучение их эколого-средообразующей роли в сероводородной зоне Чёрного моря [5];
- Анализ литературных данных об автохтонном населении анаэробов батиаля и сероводородной зоны Чёрного моря – вирусов, архей, бактерий и их консорциумов, а также об их химической среде.

«Экстремальность» условий биогеоценоза батиаля не только *не даёт развиваться* живым спорам аэробов, удерживая их в латентном состоянии, но и *сохраняет* также высокоплодородные свойства водной среды сероводородной зоны, недоступные морским растениям-аэробам в природных условиях в присутствии сероводорода и при отсутствии сол-

нечного света. Ключевыми составляющими «экстремальности» служат отсутствие в этой зоне и света, и кислорода. Поэтому сероводородная толща Чёрного моря представляет собой высокоёмкостный непрерывно самовозобновляющийся фонд (и гигантский резерв) высокопитательной естественной культуральной природной среды для её потребителей из окислительной биосферы – морских одно- и многоклеточных растений в условиях контакта обеих биосфер – восстановительной и окислительной, а также при наличии солнечного света.

Экстремальный биогеоценоз батиаля и сероводородной толщи Чёрного моря складывается из динамической системы (1) *экстремального биоценоза* и (2) *комплекса среды обитания этого биоценоза*, а именно среды, характеризующейся *особыми*, как физическими и геологическими, так и *восстановительными* физико-химическими и химическими показателями (рис. 1).

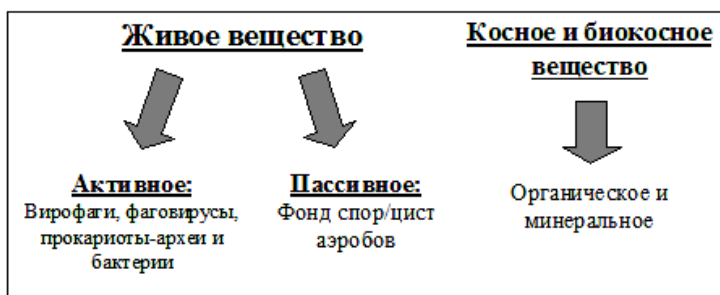


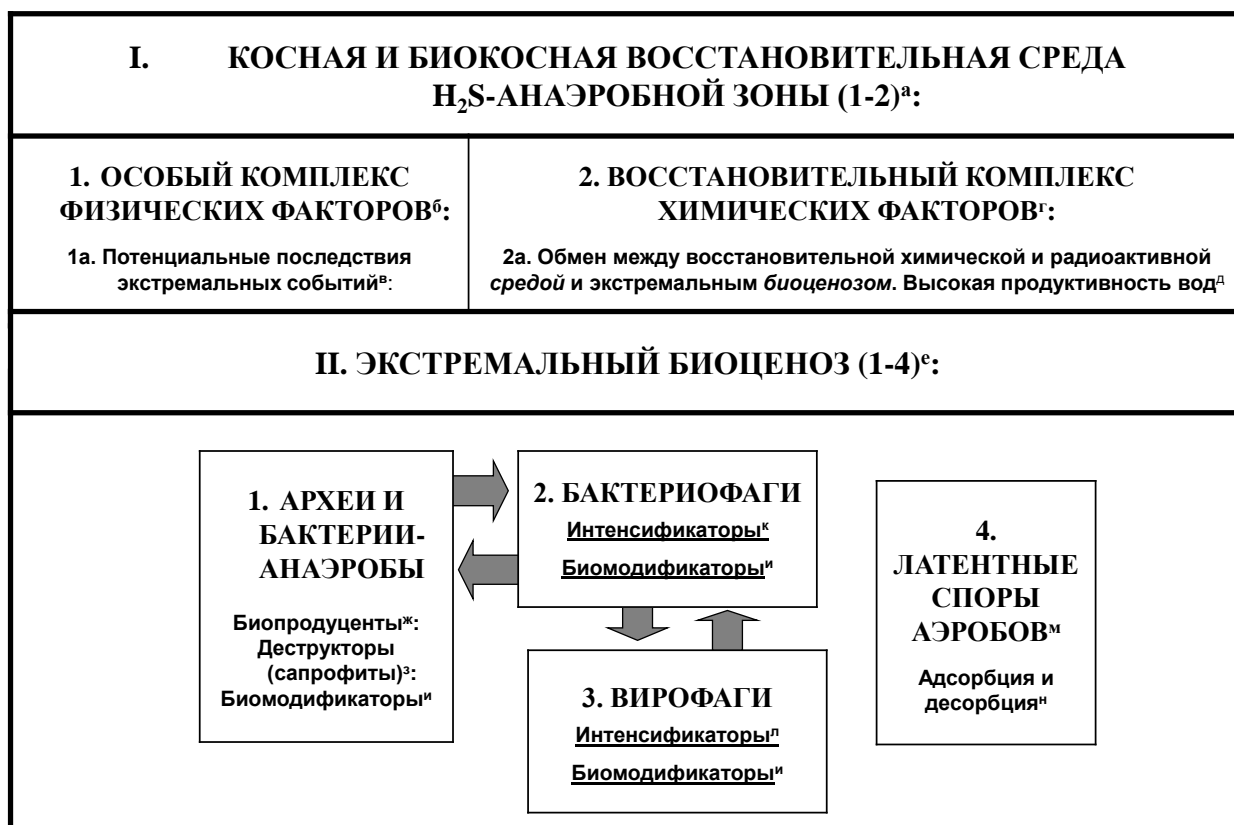
Рис. 1 Схема состава экстремального биогеоценоза батиаля и сероводородной толщи Чёрного моря

Fig. 1 The scheme of the extreme bathyal biogeocenosis and of the Black Sea hydrogen sulphide zone

Экстремальный биогеоценоз дна котловины в глубоководной сероводородной зоне Чёрного моря (рис. 2) представляет собой природный взаимообусловленный комплекс *живого вещества* – **свободноживущих** сверхпаразитирующих, паразитирующих, хемосинтезирующих и гетеротрофных анаэробов (вирио- и бактериофагов, архей, бактерий) и **латентных** спор/цист аэробов (наземного, пресноводного, морского происхождения), с одной стороны, и *косных/биокосных компонентов* их **среды обитания** – морской воды, донных отложений, газов, минеральных и органических веществ, а

также арагонитовых построек, с другой стороны. Живые организмы (кроме латентных спор/цист) и косные/биокосные компоненты их среды связаны в биогеоценозе между собой непрерывным обменом веществ и энергии.

Глубоководный биогеоценоз Чёрного моря зависит от поступления в него вещества и энергии как снизу из восстановительного донного ложа (газы и растворы химических и радиоактивных веществ), так и из верхних окислительных слоев моря (преимущественно взвеси).



Примечания:

^аглубинная морская вода, седименты батиаля и арагонитовые основы архейно-бактериальных коралловидных построек и рифов;

^бполное отсутствие света; пониженная (постоянная) температура; возрастающее с глубиной давление;

^ввероятный вынос латентных спор в атмосферу Земли и в Космос при попадании кометы или астероида в Черное море и экологические последствия при гипотетическом глубоководном взрыве на его дне мощного ядерного устройства;

^гполное и постоянное отсутствие кислорода; высокие концентрации сероводорода; восстановленные формы химических и радиоактивных веществ естественного и искусственного происхождения;

^дбиогенный потенциал восстановительной среды Черного моря для морских растений при контакте этих вод с окислительной средой (атмосферой воздуха);

^еживое вещество в анаэробной сероводородной зоне Черного моря;

^жхемосинтез органического вещества синтрофами (археями и бактериями); *активность*

автотрофных сульфатредуцирующих, тионовых, тиоденитрофицирующих бактерий; *метанообразование* археями; *ассимиляция* археями CO₂ водной среды и CH₄ метановых сипов; *создание* консорциумом архей и бактерий арагонитовых коралловидных построек и рифовых парцелл;

^зразложение детрита, останков прокариотов-анаэробов и оседающих погибших аэробов;

^ихимической формы и физического состояния химических элементов и радионуклидов;

^кбиогенной миграции органических веществ архей и бактерий;

^лбиогенной миграции органических веществ бактериофагов;

^мприродный фонд «законсервированных» восстановительной средой живых спор наземных, пресноводных и морских аэробов;

^нхимических элементов и радионуклидов.

Рис. 2 Концептуальная модель экстремального биогеоценоза сероводородной зоны Чёрного моря
Fig. 2 The conceptual model of the extreme biogeocenosis of the Black Sea hydrogen sulphide zone

Как видно на модели (рис. 2), собственно биоценоз сероводородной толщи и батиаля Чёрного моря состоит из (А) *активных свободноживущих* анаэробов: (А1) *продуцентов-*

хемосинтетиков, функционирующих на основе химической энергии, – **архей и бактерий**, включая их симбиоз; (А2) *паразитов* бактерий **вирусов** – бактериофагов и *паразитов* вирусов

– **виофагов**; (А3) **бактерий-деструкторов** (сапрофитов) органического вещества (РОВ и ВОВ – растворённого и взвешенного органического вещества в толще сероводородных вод, останков аэробов из окислительной зоны, осевших в виде дождя трупов); и (Б) **инертных спящих спор и цист** аэробов (Б1) наземного, (Б2) пресноводного и (Б3) морского происхождения – из окислительной зоны пелагиали моря и через неё из атмосферы, рек и суши.

Ниже приводятся примеры: кратчайшие характеристики основных компонентов биологического состава экстремального биоценоза Чёрного моря.

Археи (*Archaea* Woese et Wheelis, 1990, или *Archaeobacteria*) в Чёрном море: хемоавтотрофы, экстремо-, психро- и барофилы. Морфологически и по типу размножения археи не отличаются от бактерий. Под морским дном в горных породах обитают гетеротрофные виды архей (их предполагаемый источник углерода – углеводороды и хемотрофные метанооксиляющие археи). Археи усваивают только простейшие органические вещества. Археи *Euryarchaeota* (*Methanotrix*) – метаногены, *Thaumarchaeota* – окислители аммония. Геном архей состоит из двуцепочной кольцевой ДНК и кольцевых плазмид (16s РНК) [17].

Сульфатредуцирующие анаэробные бактерии – большая часть сероводорода образуется ими в толще Чёрного моря, а не мигрирует из осадков [8]:



Роды – представители сульфидогенов-сульфатредукторов, для которых H_2 **служит донором электронов**: *Desulfovibrio*, *Desulfonatronovibrio*, *Desulfonatronum*, *Desulfobacter*, *Desulfobulbus*, *Desulfonema* [23].

Вирусы (*Vira*). Микроскопические частицы-вирионы без признаков жизни (без метаболизма) и с пассивным поведением органических полимеров от 20 до 500 нанометров, способные инфицировать живые клетки архей, бактерий и т.д. Состоят из генома (ДНК или

РНК, иногда из ДНК и РНК) и белковой оболочки-капсида. У некоторых вирусов присутствует также липидная оболочка. Вирионы – автономные генетические элементы с внеклеточной стадией в цикле развития. Облигатные паразиты, не способные размножаться вне клетки хозяина. Полное отсутствие основного и энергетического обмена и отсутствие аппарата синтеза белка. Пассивно переносятся потоками воды до случайного контакта – «адсорбции» – с клеткой хозяина (археей, бактерией и т.д.), имеющей в плазматической мембране белок – специфичный рецептор (часто гликопротеин). Этапы инфицирования: адсорбция на мембране клетки; внедрение в клетку; перепрограммирование клетки; у некоторых вирусов – персистенция или лизогения (латентное состояние до попадания бактерии в неблагоприятную среду – литическая стадия с разрывом мембраны клетки и выходом многих тысяч вирусов из убитой при этом клетки хозяина); размножение в виде синтеза мРНК, синтеза вирусных белков и репликации вирусного генома; созревание вирионов и выход из клетки; синтезированные геномные РНК и ДНК покрываются необходимыми белками и выходят из клетки, убивая её или оставляя и далее продуцировать вирус. Вирусы подразделяются на виофагов (вирусов-бактериофагов) и фаговировусов (вирусов сателлитов) [18 – 20].

На рис. 3 показано всестороннее участие экстремального биогеоценоза восстановительной зоны Чёрного моря в трансформации и переносе косных и биокосных естественных и загрязняющих веществ химической и радиоактивной природы. Названные вещества поступают в этот биогеоценоз из автохтонной водной толщи, из аллохтонных источников окислительной зоны, из источников газов в донных отложениях и продуктов ремобилизации естественных и загрязняющих веществ, поступающих также из седиментов.



Рис. 3 Участие экстремального биогеоценоза восстановительной зоны Черного моря в миграции вещества в биосфере

Fig. 3 Participation of the extreme biogeocenosis of the Black Sea reduction zone in the migration of substances in the biosphere

В свою очередь, данный биогеоценоз обогащает и трансформирует состав водной среды растворимым и взвешенным веществом, газами, неорганическими и радиоактивными веществами. Одна из важнейших общебиосферных и космических функций рассматриваемого биогеоценоза может состоять в накоплении, сохранении и возврате на масштабе геологических эпох в окислительную биосферу (и даже в выносе в открытый космос) громадного фонда латентных спор аэробов многих видов, в том числе утраченных на земной поверхности при ударе кометы в Чёрное море, сильном землетрясении, крупных антропогенных катастрофах. Вирусы, по-видимому, обладают весьма высокой сорбционной способностью химических и радиоактивных веществ в связи с их мельчайшими размерами и огромным отношением их биоплощади к их весу, а также

благодаря их гигантской концентрации в природной морской воде – порядка 250 млн. вирусных частиц в 1 мл. Поэтому предпринята попытка [9] оценить адсорбирующую способность поверхности вирусов, например, в отношении модельных ионов ^{210}Po , который не имеет изотопных носителей. По сделанной оценке, $7.549 \cdot 10^{14}$ ионов ^{210}Po могут быть предельно сорбированы вирионами в 1 мл морской воды, если исключить конкуренцию ионов других сорбирующихся веществ. Ход оценки: пусть в 1 мл морской воды взвешены 250 000 000 вирусных частиц, каждая размером 20 – 500 нм (для оценочных расчётов возьмём 100 нм). Имеется вирионовая поверхность из органики (интересно оценить её в том же 1 мл морской воды) и имеются склонные к адсорбции на биоплощади вещества, на простейшем примере – ^{210}Po . Оценка в первом приближении роли поверхности вирионов –

частиц вирусов: поверхность 1 вириона – частицы вируса, если предельно упростить его сложную форму до сферы диаметром 100 нм (или радиусом = 50 нм), определяется по формуле:

$$S_1 = 4\pi R^2 = 31415.9265 \text{ нм}^2.$$

Пусть в 1 мл морской воды находится 250 000 000 частиц. Тогда их общая площадь (вирионовая поверхность из органики) в 1 мл морской воды составит:

$$S = S_1 \cdot 250\,000\,000 = 31415.9265 \cdot 250\,000\,000 = 7.854 \text{ E}+12 \text{ нм}^2.$$

Эффективный радиус для иона Po^{4+} – 1.02 ангстрема = $1.02 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0.102 \text{ нм}$. Тогда при присутствии на этой поверхности только ионов полония (с площадью под каждый ион, равной $4\pi \cdot 0.102 \text{ нм}^2 = 0.010404 \text{ нм}^2$) на ней может разместиться их количество, равное $7.854 \cdot 10^{12} / 0.010404 = 7.549 \cdot 10^{14}$ (в случае абсолютно полного заполнения ими всей поверхности вирионов).

Но полонию составляют конкуренцию другие активные по своей связи элементы, их ионы и комплексы. Это – сложная система и предпочтение можно вычленить только при наличии конкретных данных для всего комплекса возможных химических взаимосвязей.

Представленный расчёт сорбционной поверхности вирионов в контексте сорбции полония рассматривается в качестве предварительной демонстрационной (в первом приближении) оценки. Известна склонность полония к гидролизу и комплексообразованию, что может существенно изменять размер, а, значит, и удельное число сорбируемых частиц, наряду с повышенной сорбируемостью гидролизных форм данного химического элемента.

Из числа антропогенных радиоэлементов весьма высокой сорбционной способностью отличается плутоний, особенно в восстановительной среде Чёрного моря [16]. Прежде всего, это связано, с одной стороны, с особенностями физико-химических свойств плутония: способностью пребывать в растворах в не-

скольких степенях окисления и изменять степень окисления в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала среды, увеличивать сродство к частицам и прочность связывания с ними с уменьшением степени окисления, а также способность к комплексообразованию, сорбции и соосаждению с другими элементами, когда эти элементы из растворённой формы переходят во взвешенную форму под влиянием условий среды. С другой стороны, это обусловлено особенностями условий в самом море: изменение окислительно-восстановительных условий в водной толще черноморских вод, где с глубиной с появлением сероводорода происходит изменение окислительной среды на восстановительную на глубинах свыше 200 м. Так, в переходной, так называемой редокс-зоне, где и происходит смена окислительной среды на восстановительную, имеет место процесс соосаждения плутония с железом и марганцем, которые здесь переходят под воздействием меняющихся условий среды во взвешенную форму. В глубинных водах восстановительные условия в водной среде обуславливают снижение степени окисления плутония и более прочное его связывание с частицами в сероводородной зоне моря. При степени окисления V, VI плутоний находится преимущественно в растворённой форме в окислительных условиях, а в восстановительных условиях преобладают степени окисления III, IV, плутоний находится преимущественно во взвешенной форме и прочно связан с частицами. Это не только способствует более быстрому переходу растворённого плутония во взвешенную форму и, следовательно, более быстрому осаждению, но и более прочному удерживанию плутония взвесью и осадками, а, следовательно, минимизации процесса ремобилизации плутония в водную среду в растворимой форме, что ограничивает его миграцию как внутри водоёма, так и за его пределы. Эти физико-химические процессы формируют барьерную роль Чёрного моря в

миграции плутония, поступающего из водосборного бассейна Чёрного моря, в другие моря средиземноморского бассейна, а также определяют особенности химического перераспределения плутония в абиогенных компонентах экосистемы Чёрного моря, где в водной толще запасы плутония составляют около 10 %, а в осадках около 90 % от его общего содержания в водоёме, тогда как в морях с кислородосодержащей толщей вод наблюдается обратное соотношение [16]. Так, в Средиземном море порядка 5 % плутония содержится в донных отложениях и около 95 % в водной

толще. Такова радиохимическая картина поведения плутония в изучаемых средах. В перспективе же акцент должен быть сделан на выяснении именно биологической роли фактора живого вещества, который действует медленно, но постоянно и часто приводит к неожиданным результатам. В случае весьма высоких концентраций активности плутония, как альфа-излучателя, на первое место могут выходить радиационно-химические эффекты.

Споры аэробов – водорослей и наземных грибов (табл. 1, 2).

Табл. 1 Результаты выращивания одноклеточных водорослей из спор, собранных в грунте на глубоководной станции “Батиаль-2” в Чёрном море [7]

Table 1 The results of the cultivation of unicellular algae spores collected from sediments at the deep station "Bathyal-2" in the Black Sea [7]

Таксон	Слой грунта, см	
	0 – 1.5	1.5 – 5.0
<i>Chaetoceros</i> (Bacillariophyta)	+	-
<i>Peridinium</i> sp. (Dinophyta)	+	+
<i>Pterosperma cristatum</i> (Chlorophyta)	+	-
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Chlorophyta)	+	-
<i>Distephanus speculum</i> (Silicoflagellata)	+	-
<i>Emiliana huxleyi</i> (Chrysophyta)	+	-
<i>Pseudopedinella pyriforme</i> (Chrysophyta)	+	+
<i>Gleocapsa</i> sp. (Cyanophyta)	+	
<i>Oscillatoria</i> sp. (Cyanophyta)	+	+
<i>Anabaena spiroides</i> (Cyanophyta)	+	+
<i>Aphanotece</i> sp.	+	+
Гетероцисты <i>Anabaena spiroides</i> (Cyanophyta)	-	-
Мелкие синезелёные (пикопланктон)	+	+

Примечание. (+) — присутствие, (-) — отсутствие.

Табл. 2 Высшие грибы, выращенные из спор, собранных в грунте на глубине 730 м в районе палео-дельты Днепра (I, II — питательная среда) [7]

Table 2 Higher fungi grown from spores collected at a depth of 730 m from sediments near the Dnieper paleo-delta (I, II – nutrient medium) [7]

Таксон	Слой грунта, см							
	0 – 1.5				1.5 – 5.0			
	4 – 5°C		22 – 24°C		4 – 5°C		22 – 24°C	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Отдел Ascomycota:								
<i>Chaetomium globosum</i>	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>C. murorum</i>	-	-	-	+	-	-	-	+
Ascomycetes g. sp. 1	-	-	+	+	-	-	-	+
Ascomycetes g. sp. 2	-	-	+	+	-	-	-	-

Примечание. (+) — присутствие, (-) — отсутствие.

Отметим, что на данном этапе исследований, как и ранее, ни у нас, ни у других авторов не было случаев достоверного нахождения в изучаемой сероводородной батиали живых животных и живых растений [3, 6, 7, 14].

Хотя на планете Земля господствует геологически более молодая *окислительная*-биосфера, тем не менее, изначальная *восстановительная* биосфера постоянно готова к реваншу, занимая экстремальное и значительно более скромное положение при исключительно многообразном распространении её плацдармов (в прибрежных и глубоководных донных отложениях, в пищеварительной системе животных, особенно термитов, жвачных млекопитающих и т.д., при заморах, гниении, многих заболеваниях). В данном случае слово «экстремальное» означает «крайнее, выходящее из рамок». В Чёрном море масштаб экстремальной восстановительной сероводородной зоны чрезвычайно велик, охватывая большую часть его толщи – пелагиаль и бенталь, что делает это море уникальным среди всех морей и океанов. Этот масштаб хорошо иллюстрируется величинами потоков в аноксическом слое Чёрного моря двух важнейших веществ – сульфида и углерода (табл. 3).

Табл. 3 Скорости некоторых процессов круговорота сульфида и углерода в аноксическом слое Чёрного моря [21]

Table 3 The rates of some processes of sulfide and carbon cycle in the anoxic layer of the Black Sea [21]

Процесс	Скорость процесса (результат моделирования), ммольм ⁻² год ⁻¹
Поток углерода в аноксическом слое	1624
Скорость сульфат-редукции и сульфид-продукции в осадках	535
Средний поток углерода в осадки	525
Поток взвешенного сульфида	26
Скорость окисления сульфида у верхней части интерфейса	98

Между понятиями «биогеоценоз» и «экосистема» нет принципиальной разницы, кроме большей или меньшей конкретности и широты использования. Заметим, что экстремальность сообществ и среды в биосфере Земли оценивается с доминирующих позиций аэробов и окислительной биосферы. Термины «экологически экстремальная зона» и «экстремальный биогеоценоз» в применении к живым и косным объектам глубоководной сероводородной восстановительной зоны Чёрного моря [10] обусловлены, прежде всего, наличием в последней *аэробов*, хотя и лишь в виде живых спор и цист. Последние формируют постоянно пополняемый гигантский фонд из спор и цист, оседающих с поверхности моря, куда их переносят ветер, сток рек и птицы из всех подразделений окислительной биосферы – с суши, из пресных и морских водоёмов [27]. Там, в экстремальных условиях, споры и цисты выживают, вернее, сохраняются в латентном состоянии, видимо, неопределённо долгое время [1]. Конкретными аргументами в пользу термина особый, восстановительный и «экстремальный» в рассматриваемом отношении служат постоянное *отсутствие кислорода*, как следствие существования *восстановительной биосферы*, и наличие его антагониста – непрерывно возобновляемого природного *токсиканта* – *сероводорода*, а также высокое гидростатическое давление на больших глубинах и ряд других экстремальных факторов [1]. Экстремальной же считается и та *практическая деятельность человека* (промысловая, добывающая, военная, техническая), которая связана с высокой химической агрессивностью сероводородной среды для используемых в ней материалов. Наконец, явно экстремальны, в случае их возникновения, такие *крупномасштабные природные и антропогенные явления*, как массивный выброс метана и сероводорода в атмосферу при катастрофических глубоководных землетрясениях, попадании крупного небесного тела в батиаль Чёрного моря, а также глубин-

ный взрыв мощного ядерного устройства [25].

Если общая биоценология изучает строение, развитие, распределение, эволюцию и происхождение сообществ живых организмов – *биоценозов*, то общая биогеоценология исследует биоценозы вместе с их неживой природной средой обитания – *биогеоценозы*, которые включают в себя естественные, а также искусственные (антропогенные) факторы [4, 15]. То, что представляет собой до настоящего времени сферу разработки проблем общей и наземной (почвенной, лесной) биогеоценологии, созданной В. Н. Сукачевым в 1940 г. [15] и развитой впоследствии его учениками [4], в наше время в полной мере заслуживает распространения и на проблемы изучения глубоководного биогеоценоза котловины и сероводородной толщи Чёрного моря. «В круг вопросов, решаемых биогеоценологией, входят следующие: исследование структуры, свойств и функций компонентов биогеоценоза и расшифровка механизма их связей; изучение потоков вещества и энергии в них, а также доли и формы участия их компонентов в материально-энергетическом метаболизме всего комплекса и особенно в его биологической продуктивности; изучение преобразования одними компонентами состояний, свойств и работы других; определение их роли в изменении и динамике биогеоценоза; установление реакций компонентов и биогеоценоза в целом на стихийные воздействия и хозяйственную деятельность человека; изучение устойчивости биогеоценозов и ее регуляторных механизмов; исследование взаимосвязей и взаимодействий как между соседними, так и более отдаленными биогеоценозами, обеспечивающими единство биосферы и ее крупных частей» [4].

Созданные человеком факторы стремительно нарастают в их разнообразии, времени, масштабности и грандиозности производимого и ожидаемого воздействия на биогеоценоз баттали Чёрного моря [11]. Отметим важнейшие из таких факторов: глобальные радиоактивные

выпадения в результате проведенных до 1963 г. ядерных и термоядерных испытаний в атмосфере; чернобыльские радиоактивные поступления с 1986 г. через атмосферу и реки; широкомасштабные загрязнения химическими токсикантами на всём протяжении индустриальной эры, химизации сельского хозяйства и урбанизации побережья моря и впадающих в него рек. Их изучают, соответственно, *радиационная и химическая биогеоценология*. К подобным факторам добавилась усилившаяся в 21-м веке промышленная активность по глубоководной добыче углеводородов, проектированию и прокладке гигантских нефтепроводов по дну черноморской котловины, в том числе от восточного до западного побережья через батталь этого моря. Незабываемы и давние претензии иностранных ядерных держав на захоронение отходов их атомной промышленности на дно Чёрного моря [2].

Таким образом, экстремальный биогеоценоз глубоководной сероводородной зоны Чёрного моря, включая дно его котловины, изучаемый *экстремальной биогеоценологией*, представляет собой природный взаимообусловленный комплекс *живого вещества* – **свободноживущих** сверхпаразитирующих, паразитирующих, хемосинтезирующих и гетеротрофных анаэробов (вирио- и бактериофагов, архей, бактерий) и **латентных** спор/цист аэробов наземного, пресноводного, морского происхождения, с одной стороны, и *косных/биокосных компонентов* их **среды обитания** – морской воды, донных отложений, газов, растворённых и взвешенных минеральных, радиоактивных и органических веществ, а также биокосных арагонитовых коралловидных построек, с другой. Живые анаэробы (кроме латентных спор/цист аэробов) и косные/биокосные компоненты их среды обитания связаны в биогеоценозе между собой непрерывным обменом веществ и энергии, ведущим к изменению физического состояния и химической формы химических элементов и радио-

нуклидов естественного и искусственного происхождения. Рифы крупных коралловидных построек архей на метановых сипах формируют *биогеоэценотические парцеллы* – горизонтальные неоднородности, или мозаичности, на дне котловины Чёрного моря. Сероводородная толща содержит неисчислимы, а главное, самовозобновляемые запасы «законсервированной» сероводородом *высокопитательной среды*, представляющей собой один из многочисленных предметов изучения *химической биогеоэценологии*. Эта среда пригодна, как показано нами [13], для интенсивной марикультуры морских одно- и многоклеточных водорослей, а также, весьма вероятно, и морских цветковых растений. Наличие же антропогенных *загрязнений* экстремального биогеоэценоза котловины и толщи Чёрного моря обусловило формирование глубоководной *молисмологии и экстремальной радиохемозэкологии*. Названные направления входят в *общую, радиационную и химическую биогеоэценологию* сероводородной толщи и котловины этого моря, а в широком смысле – в *экстремальную биологию* сероводородной зоны Чёрного моря или тесно с ней взаимодействуют. Природный фонд латентных спор и цист аэробов на дне батиаля – перспективный объект для изучения *экзобиологии* в естественных условиях.

Выводы. **1.** Проанализированы собственные и литературные данные в отношении восстановительной зоны Чёрного моря: (а) о **живом** веществе автохтонного (анаэробы – ар-

хеи и бактерии) и аллохтонного (живые споры аэробов – пресноводных и морских водорослей и наземных грибов) происхождения, а также (б) о **косном** веществе автохтонного (минерального, органического, естественно-радиоактивного) и аллохтонного (техногенно-химического и искусственно-радиоактивного) происхождения. **2.** Предложена структура экстремального биогеоэценоза сероводородной толщи и котловины батиаля Чёрного моря, как основа нового направления комплексных исследований – экстремальной биологии этого моря. Разработанная концептуальная модель экстремального биогеоэценоза восстановительной зоны Чёрного моря учитывает взаимодействие его биоэценоза с естественными и искусственными факторами среды. **3.** Определен круг основных научных дисциплин, непосредственно связанных с изучением экстремального биогеоэценоза: экстремальная экология и биогеоэценология, бактерио- и вирусология, глубоководная радиохемозэкология, молисмология, биогеохимия, экзобиология. **4.** Показана экологическая, молисмологическая, биогеохимическая и экзобиологическая роль экстремального биогеоэценоза сероводородной зоны Чёрного моря для окислительной биосферы Земли и ее эволюции. **5.** На примере колония и плутония показана исключительная перспективность выяснения роли экстремального живого вещества в радиохемозэкологических процессах восстановительной зоны Чёрного моря.

1. Вернадский В. И. Химическое строение Биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965. – 374 с.
2. Водяницкий В. А. Допустим ли сброс отходов атомных производств в Чёрное море? // Природа. – 1958. - № 2. – С. 46 – 52.
3. Гулин М. Б. К изучению роли гипоксии и аноксии в жизни морских эвкариот // Морск. экол. журн. – 2012. – 11, № 1. – С. 81 – 98.
4. Дылис Н. В. Биогеоэценология / Большая Советская Энциклопедия. – 1970. – 3. – С. 332.
5. Егоров В. Н., Артёмов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая

- и экологическая роль / Под ред. Г. Г. Поликарпова. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – 405 с.
6. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. и др. Средоточие останков оксифионтов и банк живых спор высших грибов и диатомовых в донных отложениях сероводородной батиаля Черного моря // Доповіді НАН України. – 2007. – № 7. – С. 159 – 164.
7. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. и др. Биологическое разнообразие оксифионтов (в виде жизнеспособных спор) и анаэробифионтов в донных осадках сероводородной батиаля

- Черного моря // Доповіді НАН України. – 2008. – № 5. – С. 168 – 173
8. *Иванов М. В., Пименов Н. В., Русанов И. И.* и др. Роль анаэробных бактерий в экосистемах Черного моря // *Природа*. – 1998. – № 6. – С. 97 – 102..
 9. *Лазоренко Г. Е.* Личное сообщение. 2012 г.
 10. *Поликарпов Г. Г.* Глубоководный полигон для изучения свойств живого вещества в экстремальных условиях // *Радиационная Биология. Радиоэкология*. – 2011. – № 5. – С. 565 – 575.
 11. *Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н.*, ред. Радиэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 666 с.
 12. *Поликарпов Г. Г., Лазоренко Г. Е., Ланская Л. А.* Реакция планктонных водорослей (Bacillariophyta и Rynophyta) на водную среду из восстановительной зоны Черного моря. // *Доклады АН УССР*. – Сер. Б. – 1986. – № 8. – С. 73 – 75.
 13. *Поликарпов Г. Г., Лазоренко Г. Е., Терещенко Н. Н.* Биогенные свойства черноморской глубинной воды: потенциальные возможности для культивирования морских одноклеточных водорослей и макрофитов. 8.1. Биогенные свойства глубинной воды сероводородной зоны Черного моря для морских водорослей // *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования* / Под ред. Ю. Н. Токарева, З. З. Финенко и Н. В. Шадрина. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – С. 222 – 233.
 14. *Сорокин Ю. И.* Черное море. Природа, ресурсы. / Отв. ред. М.Е. Виноградов. – М.: Наука, 1982. – 217 с.
 15. *Сукачѳв В. Н.* Основы теории биогеоценологии // Юбил. сб. АН СССР, посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции. – Ч. 2. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1947. – С. 283 – 305.
 16. *Терещенко Н. Н., Поликарпов Г. Г.* Радиационно-экологическая ситуация в Чѳрном море в отношении ^{238,239,240}Pu после Чернобыльской аварии по сравнению с некоторыми другими водоѳемами в 30-км зоне Чернобыльской АЭС и за еѳ пределами / *Проблемы радиэкологии и пограничных дисциплин*. – Нижневартовск, 2007. – Вып. 10. – С. 12 – 29
 17. *Фирсов Н. Н.* Микробиология: словарь терминов – М.: Изд. Дрофа, 2006. – 256 с.
 18. *Bergh Borsheim K.Y., Bratbak G., Heldal M.* High abundance of viruses found in aquatic environments // *Nature*. – 1989. – **340** (6233). – P. 467 – 468. DOI:10.1038/340467a0.PMID2755508.
 19. *Corinaldesi C., Dell'Anno A., Danovaro R.* Viral infection plays a key role in extracellular DNA dynamics in marine anoxic systems // *Limnol. Oceanogr.* – 2007. – № 52. – P. 508 – 516.
 20. *Danovaro R., Dell'Anno A., Corinaldesi C.* et al. Major viral impact on the functioning of benthic deep-sea ecosystems // *Nature*. – 2008. – **454**. – P. 1084 – 1087. DOI:10.1038 / 07268.
 21. *Grégore M., Soetaert K.* Carbon, nitrogen, oxygen and sulfide budgets in the Black Sea // *Ecol. Modelling*. – 2010. – **221**. – P. 2287 – 2301.
 22. *Gulin S. B., Polikarpov G. G., Egorov V. N.* et al. Chronological study of ¹³⁷Cs, PCBs and some pesticides fluxes into the Western Black Sea deep sediments // *The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Mediterranean Sea. Marina-MED Project: Proc. Seminar held in Rome at the European Nuclear Energy Agency headquarters from 17 to 19 May 1994*. – Report EUR-15564 EN / Eds. A. Cigna, R. Delfanti, R. Serro. – Radiation Protection 70. – Brussels-Luxembourg: ECSC-EC-EAEC, 1995. – P. 487 – 500.
 23. <http://lib4all.ru/base/B1967/B1967Part44-135.php>
 24. *Polikarpov G. G., Lazorenko G. E., Tereshchenko N. N.* Biogenic properties of deep waters from the Black Sea reduction (hydrogen sulphide) zone for marine algae. // *J. Black Sea / Mediterranean Environ.* – 2006. – **12**. – P. 129 – 153.
 25. *Schuiling R.D., Cathcart R.B., Badescu V.* et al. Asteroid in the Black Sea. Death by drowning or by asphyxiation? // *Nat. Hazards*. – 2007. – **40**. – P. 327 – 338.
 26. *Treude T., Knittel K., Blumenberg M.* et al. Sub-surface Microbial Methanotrophic Mats in the Black Sea // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2005. – **71**, № 10. – P. 6375 – 6378.
 27. *Zaitsev Yu. P., Polikarpov G. G.* Recently discovered new biospheric pelocontour function in the Black Sea reductive bathyal zone // *J. Black Sea / Mediterranean Environ.* – 2008. – **14**, № 3. – P. 151 – 165.

Поступила 03 мая 2012 г.

Екстремальне життя та створювана ним самим собі область життя в батіалі Чорного моря. Г. Г. Полікарпов. На відміну від біогеоценозів (екосистем) суші, прісноводних водойм і морських вод окислювальної зони, склад і структура екстремального глибоководного біогеоценозу сірководневої (відновлювальної) товщі і дна батіалі Чорного моря вкрай специфічні. Його відновне середовище вважається аналогом такого найдавнішого первородного океану нашої планети. У цьому біогеоценозі відсутні кисень і світло; мешкають і розмножуються вірофаги – паразити вірусів, бактеріофаги – паразити прокаріотів; а також їх

господарі анаероби - прокаріоти - археї і бактерії; *знаходяться повністю в латентному стані* осілі в донні відкладення спори **алохтонних** аеробів з суші, з прісних водойм і з окисного шару морів; *не виявлені вільно-живучі живі тварини, рослини і мікроорганізми-аероби*, які б здійснювали свій повний життєвий цикл розвитку, росту і розмноження. З видами архей і анаеробних бактерій, а також вірусів, в екстремальному біогеоценозі безпосередньо пов'язане формування і підтримка ними специфічного середовища їх проживання. Відповідно до ідеї В. І. Вернадського, середовищеутворююча роль живої речовини забезпечує її виживання. У відновному середовищі екстремального біогеоценозу відбуваються масштабні біогеохімічні і радіохемоекологічні процеси зі зміни *фізичного стану та хімічної форми* елементів і радіонуклідів природного і штучного походження. Величезні біологічні поверхні і вкрай малі маси вірусів (при їх гігантській концентрації в морській воді і осадах) і біохімічного вмісту інфікованих архей і бактерій, які «вибухають» внаслідок інфекції, в сірководневій зоні повинні привертати увагу для врахування потенційно великої ролі цього *сорбційного фізико-хімічного фактора* в розподілі, міграції та кругообігу хімічних та радіоактивних речовин в глибинах Чорного моря. Розгляд широкого кола біологічних процесів в його відновній зоні призводить до необхідності формування в самому широкому плані *екстремальної біології* сірководневої товщі і дна улоговини Чорного моря на стику з іншими природно-науковими областями знання для комплексного вивчення закономірностей функціонування цього великого природного екстремального біогеоценозу.

Ключові слова: глибоководна сірководнева зона, батіаль, Чорне море, екстремальний біогеоценоз, екосистема, парадокс високопродуктивного середовища, жива речовина, вірофаги, бактеріофаги, археї, бактерії, біогеоценотичні парцели, радіоактивні та хімічні забруднення, молісмологія, біогеоценологія, радіохемоекологія, екзобіологія, екстремальна біологія Чорного моря.

Extreme life and created by it the life's sphere for itself in the Black Sea bathyal. G. G. Polikarpov. The composition and structure of the extreme deep water biocenosis of the hydrogen sulfide (reduction) depth and the bathyal bottom of the Black Sea are very specific in the contrast to biogeocenoses (ecosystems) of the land, fresh waters and marine waters of the oxidizing zone. It's reductive environment is considered to be an analogue of such of the most ancient primal ocean of our planet. There are no oxygen and light in this biogeocenosis; virophages – viruses parasites, bacteriophages – parasites of prokariotes as well as their hosts anaerobes – prokariotes - archeas and bacteria are inhabited and reproduced in it; spores of the allochtonic aerobes sanked to the bottom sediments from the land, fresh waters and oxidizing level of seas are in completely latent state; free living alive animals, plants and microorganisms-aerobes, those who would realized their full life cycle of development, growth and reproduction are not discovered. Formation and support of the specific environment of inhabitation are directly connected with species of archea and anaerobic bacteria as well as viruses in the extreme biogeocenosis. According to V.I. Vernadsky's idea, the environment-forming role of the living matter ensure its survival. Large scale biogeochemical and radiochemoecological processes are going on in the reduction environment of the extreme biogeocenosis regarding to changes of physical state and chemical form of elements and radionuclides of natural and artificial origin. Great biological surfaces and very small masses of viruses (at their gigantic concentrations in sea water and sediments) and biochemical contents of “exploded” archeas and bacteria infected by them in the recovery zone should attract attention to the control of a potentially great role of this physico-chemical factor in distribution, migration and turnover of chemical and radioactive substances in the depths of the Black Sea. Considering the wide cycle of biological processes in its recovery zone leads to necessity in forming of the extreme biology of the hydrogen sulfide depth and bottom hollow in a broad sense at the joint of other fields of natural sciences for the complex study of regularities of functioning of this large natural extreme biocenosis.

Key words: deep sea hydrogen sulphide, bathyal, the Black Sea, extreme biogeocenosis, ecosystem, paradox of highly productive environment, living matter, virophages, bacteriophages, archea, bacteria, biogeocenotic parcels, radioactive and chemical pollution, molysmology, biogeocenology, radiochemoecology, exobiology, extreme biology of the Black Sea.