



УДК 574.4(262.5)

© 2012

Академик НАН Украины **Г. Г. Поликарпов**

Концептуальная модель экстремального биогеоценоза восстановительной зоны Черного моря

Предлагается концептуальная модель экстремального биогеоценоза восстановительной толщи Черного моря. Обсуждается значение данной модели в качестве научной основы экстремальной биологии аноксических морских глубин, включая, в первую очередь, ее раздел — экстремальную радиохемозкологию Черного моря.

Автор ставит своей целью предложить и обсудить концептуальную модель экстремального глубоководного биогеоценоза в сероводородной зоне Черного моря в сфере новых направлений — комплексного изучения экстремальной биологии и, прежде всего, экстремальной радиохемозкологии сероводородных глубин этого моря.

Исходным материалом для построения и разработки названной модели служили:

работы в области высокой потенциальной продуктивности восстановительных сероводородных вод глубин Черного моря для морских растений после контакта этих вод с атмосферой воздуха [1];

исследования по хронологии процесса радиоактивного и химического загрязнения донных отложений батиали Черного моря радиоактивными веществами после глобальных испытаний атомного оружия в открытых средах и после аварии на Чернобыльской АЭС, а также полихлорбифенилами — отходами промышленности, сельского хозяйства и флота [2];

обнаружение в илах батиали, для которых был изучен их геологический возраст, живых покоящихся аллохтонных спор аэробов — наземных грибов, пресноводных и морских водорослей [3];

открытие явления метановых сипов и изучение их эколого-средообразующей роли в сероводородной зоне Черного моря [4], а также анализ литературных данных об автохтонном населении анаэробов котловины батиали и сероводородной зоны Черного моря — вирусов, архей, бактерий и их консорциумов, а также об их химической среде.

“Экстремальность” условий биогеоценоза батиали не только *не дает развиваться* живым спорам аэробов, удерживая их в латентном состоянии, не убивая их, но и *сохраняет*

также высокоплодородные свойства водной среды сероводородной зоны, не доступные морским растениям-аэробам в природных условиях в присутствии сероводорода и при отсутствии солнечного света. Ключевой составляющей “экстремальности” служат постоянное отсутствие в этой зоне кислорода и наличие сероводорода. Поэтому сероводородная толща Черного моря представляет собой высокоемкостный непрерывно самовозобновляющийся фонд (и гигантский резерв) высокопитательной естественной культуральной природной среды для ее потребителей из окислительной биосферы — морских одно- и многоклеточных водорослей и морских цветковых растений в условиях контакта обеих биосфер — восстановительной и окислительной, а также при обязательном наличии солнечного света.

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

Экстремальный биогеоценоз восстановительной толщи и дна котловины в глубоководной сероводородной зоне Черного моря (рис. 1) представляет собой природный взаимообусловленный комплекс *живого вещества* — **свободноживущих** сверхпаразитирующих, паразитирующих, хемосинтезирующих и гетеротрофных анаэробов (вириофагов, бактериофагов, архей, бактерий) и **латентных** спор/цист аэробов (наземного, пресноводного, морского происхождения), с одной стороны, *косных/биокосных компонентов их среды обитания* — морской воды, донных отложений, газов, минеральных и органических веществ, а также арагонитовых построек — с другой. Живые организмы (кроме латентных спор/цист) и косные/биокосные компоненты их среды связаны в биогеоценозе между собой непрерывным обменом веществ и энергии.

Как видно на модели (см. рис. 1), собственно биоценоз сероводородной толщи и батиаля Черного моря состоит из **(А) активных свободноживущих** анаэробов: (А1) **продуцентов**-хемосинтетиков, функционирующих на основе химической энергии, — **архей и бактерий**, включая их симбиоз; (А2) **паразитов** бактерий **вириулов** — бактериофагов и **паразитов** вирусов — **вириофагов**; (А3) **бактерий-деструкторов** (сапрофитов) органического вещества (РОВ и ВОВ — растворенного и взвешенного органического вещества в толще сероводородных вод, остатков 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 нее из атмосферы, рек и суши.

Ниже приводятся отдельные примеры — кратчайшие характеристики основных компонентов биологического состава экстремального биоценоза Черного моря.

Археи (*Archaea*, или *Archaeobacteria*): хемоавтотрофы, экстремофилы, психрофилы, 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 метаноокисляющие археи), которые усваивают только простейшие органические вещества. Археи Euryarchaeota (*Methanotrix*) — метаногены, Thaumarchaeota — окислители аммония. Геном архей состоит из двуцепочной кольцевой ДНК и кольцевых плазмид (16S РНК) [5].

Сульфатредуцирующие анаэробные бактерии — большая часть сероводорода образуется ими в толще Черного моря, а не мигрирует из осадков [6]: $2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{C} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- + \text{CO}_2 + 3\text{HCO}_3^-$.

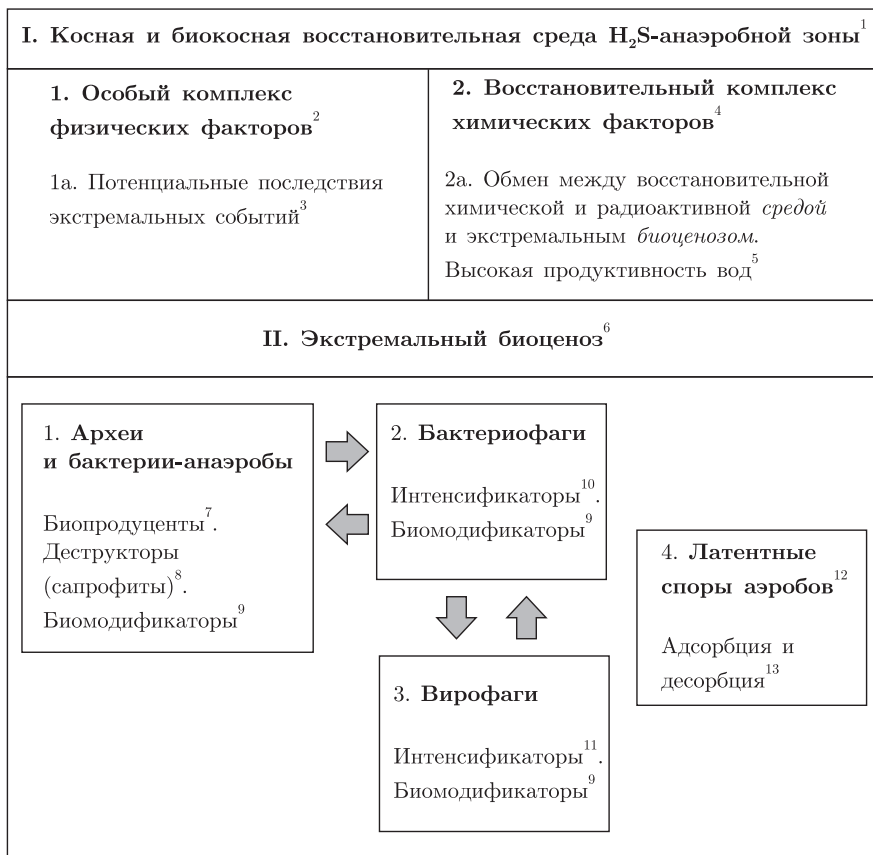


Рис. 1. Концептуальная модель экстремального биогеоценоза сероводородной зоны Черного моря.

Примечание. ¹Глубинная морская вода, седименты батиаля и арагонитовые основы археобактериальных кораллоподобных построек и рифов.

²Полное отсутствие света; пониженная (постоянная) температура; возрастающее с глубиной давление.

³Вероятный 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.

⁴Полное и постоянное отсутствие кислорода; высокие концентрации сероводорода; восстановленные формы химических и радиоактивных веществ естественного и искусственного происхождения.

⁵Биогенный потенциал восстановительной среды Черного моря для морских растений при контакте этих вод с окислительной средой (атмосферой воздуха).

⁶Живое вещество в анаэробной сероводородной зоне Черного моря.

⁷Хемосинтез 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 кораллоподобных построек и рифовых парцелл.

⁸Разложение детрита, останков прокариотов-анаэробов и оседающих погибших аэробов.

⁹Химической формы и физического состояния химических элементов и радионуклидов.

¹⁰Биогенной миграции органических веществ архей и бактерий.

¹¹Биогенной миграции органических веществ бактериофагов.

¹²Природный фонд “законсервированных” восстановительной средой живых спор наземных, пресноводных и морских аэробов.

¹³Химических элементов и радионуклидов.

Роды — представители сульфидогенов-сульфатредукторов, для которых H_2 **служит донором электронов**: *Desulfovibrio*, *Desulfonatrono-vibrio*, *Desulfonatronum*, *Desulfobacter*, *Desulfobulbus*, *Desulfonema*.

Вирусы (*Vira*). Микроскопические частицы-*вирионы* без признаков жизни (без метаболизма) и с пассивным поведением органических полимеров от 20 до 500 нм, 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 также липидная оболочка. Вирионы — автономные генетические элементы с внеклеточной стадией в цикле развития. Облигатные паразиты, не способные размножиться вне клетки хозяина. Вирусы подразделяются на вирофагов (вирусов-бактериофагов) и фаговировусов (вирусов сателлитов) [7].

Вирусы, по-видимому, обладают весьма высокой сорбционной способностью в отношении 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 доктор биол. наук. Г. Е. Лазоренко предприняла в 2012 г. попытку оценить адсорбирующую способность поверхности вирусов в отношении модельных ионов ^{210}Po , который, как известно, не имеет изотопных носителей. 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.

Споры аэробов. *Проросшие споры одноклеточных водорослей и наземных грибов*, покоившихся в батииали Черного моря, приведены в работе [5].

Отметим, что на данном этапе исследований, как и ранее нами и другими авторами, не было случаев достоверного нахождения живых животных и живых растений, обитающих в изучаемой сероводородной батииали [3, 8, 9].

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. В данном случае слово “экстремальное” означает “крайнее, выходящее из рамок”. В Черном море масштаб экстремальной восстановительной сероводородной зоны чрезвычайно велик, охватывая большую часть его толщи, что делает это море уникальным среди всех морей, о чем свидетельствуют величины потоков двух важнейших веществ — углерода и сульфида в его аноксической толще.

Скорости некоторых процессов (моделирование) круговорота сульфида и углерода в аноксическом слое Черного моря [10]:

Поток углерода в аноксическом слое, $1624 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Скорость сульфат-редукции и сульфид продукции в осадках, $535 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Средний поток углерода в осадки, $525 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Поток взвешенного сульфида, $26 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Скорость окисления сульфида у верхней части интерфейса, $98 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$.

Между понятиями “биогеоценоз” и “экосистема” нет принципиальной разницы, кроме большей или меньшей конкретности и широты использования. Термин “экстремальный биогеоценоз” в применении к живым и косным объектам глубоководной сероводородной восстановительной зоны Черного моря [11] обусловлен, 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 водоемов [8]. Там (в экстремальных условиях) споры и цисты выживают, вернее, сохраняются, только в латентном состоянии и, вероятно, неопределенно долгое время [12] в “ожидании” возможности возвращения в окислительную биосферу или выноса за ее пределы — в космос. Конкретным аргументом в пользу терминов *особый*, *восстановительный* и “*экстремальный*” в рассматриваемом отношении служит постоянное *отсутствие кислорода*, как следствие существования *восстановительной биосферы*, и наличие его антагониста — непрерывно возобновляемого природного *токсиканта* — *сероводорода*, а также высокого гидростатического давления на больших глубинах и целого ряда других особых и экстремальных факторов [12]. Экстремальной же считается и та *практическая деятельность* в ней *человека* (промысловая, добывающая, военная, техническая), которая связана с высокой химической агрессивностью сероводородной среды для материалов и средств, используемых в этой среде. Наконец, очевидно, экстремальны такие грозные *крупномасштабные природные и антропогенные явления*, в случае их возникновения, как массивный выброс метана и сероводорода в атмосферу при катастрофических глубоководных землетрясениях, при попадании крупного небесного тела в батиналь Черного моря, а также глубоководный взрыв весьма мощного ядерного устройства [13].

Созданные человеком факторы стремительно нарастают в их разнообразии, во времени, в масштабности и в грандиозности производимого и ожидаемого воздействия на биогеоценоз батинали Черного моря [14]. Их изучает *радиационная и химическая биогеоценология*. Отметим важнейшие из таких факторов: глобальные радиоактивные выпадения в результате проведенных до 1963 г. ядерных и термоядерных испытаний в атмосфере основными атомными державами; чернобыльские радиоактивные поступления с 1986 г. через атмосферу и реки (Днепр, Дунай и др.); широкомасштабные загрязнения химическими токсикантами на всем протяжении индустриальной эры, химизации сельского хозяйства и урбанизации побережья моря и впадающих в него рек. К ним добавилась усиливающаяся промышленная активность в 21-м веке по глубоководной добыче углеводородов, по проектированию и прокладке гигантских нефтепроводов по дну его котловины, в том числе от восточного до западного побережья через батиналь этого моря.

Таким образом, в ходе исследований выполнен анализ имеющихся собственных и литературных данных в отношении восстановительной зоны Черного моря: о **живом** веществе автохтонного (анаэробы — археи и бактерии, вирусы) и аллохтонного (живые споры аэробов — пресноводных и морских водорослей и наземных грибов) происхождения, а также о **косном** веществе автохтонного (минерального, органического, естественно-радиоактивного) и аллохтонного (техногенно-химического и искусственно-радиоактивного) происхождения.

Предложена структура экстремального биогеоценоза сероводородной толщи и котловины батинали Черного моря, как основа нового направления комплексных исследований — экстремальной биологии этого моря. Разработанная концептуальная модель экстремального биогеоценоза восстановительной зоны Черного моря учитывает взаимодействие его биоценоза с естественными и искусственными факторами окружающей среды.

Показана экологическая, молисмологическая, биогеохимическая и экзобиологическая роль экстремального биогеоценоза сероводородной зоны Черного моря.

1. Polikarpov G. G., Lazorenko G. E., Tereshchenko N. N. Biogenic properties of deep waters from the Black Sea reduction (hydrogene sulphide) zone for marine algae // J. Black Sea/Mediterranean Environment. – 2006. – **12**. – P. 129–153.
2. Gulin S. B., Polikarpov G. G., Egorov V. N., Zherko N. V., Stokozov N. A. 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. of a 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.
3. Зайцев Ю. П., Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. и др. Биологическое разнообразие оксифионтов (в виде жизнеспособных спор) и анаэробифионтов в донных осадках сероводородной батииали Черного моря // Доп. НАН України. – 2008. – № 5. – С. 168–173.
4. Егоров В. Н., Артемов Ю. Г., Гулин С. Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / Под ред Г. Г. Поликарпова. – Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2011. – 405 с.
5. Фирсов Н. Н. Микробиология: Словарь терминов. – Москва: Дрофа, 2006. – 256 с.
6. Иванов М. В., Пименов Н. В., Русанов И. И. и др. Роль анаэробных бактерий в экосистемах Черного моря // Природа. – 1998. – № 6. – С. 97–102.
7. 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.
8. 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**, No 3. – P. 151–165.
9. Гулин М. Б. К изучению роли гипоксии и аноксии в жизни морских эукариот // Мор. экол. журн. – 2012. – **11**, № 1. – С. 81–98.
10. Grégoire M., Soetaert K. Carbon, nitrogen, oxygen and sulfide budgets in the Black Sea // Ecol. Modeling. – 2010. – **221**. – P. 2287–2301.
11. Поликарпов Г. Г. Глубоководный полигон для изучения свойств живого вещества в экстремальных условиях // Радиационная Биология. Радиэкология. – 2011. – **51**, № 5. – С. 565–575.
12. Вернадский В. И. Химическое строение Биосферы Земли и ее окружения. – Москва: Наука, 1965. – 374 с.
13. 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.
14. Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Радиэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию. – Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2008. – 666 с.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 17.05.2012

Академік НАН України **Г. Г. Полікарпов**

Концептуальна модель екстремального біогеоценозу відновної зони Чорного моря

Пропонується концептуальна модель екстремального біогеоценозу відновної зони Чорного моря. Обговорюється значення даної моделі як наукової основи екстремальної біології аноксичних морських глибин, включаючи, в першу чергу, її розділ — екстремальної радіохемоекології Чорного моря.

Academician of the NAS of Ukraine **G. G. Polikarpov**

A conceptual model of the extremal biogeocenosis of the Black Sea reduction zone

A conceptual model of the extremal biogeocenosis of the reduction zone of the Black Sea is proposed. The significance of this model as the scientific base of the extremal general biology of anoxic marine depths, including, in the first turn, the extreme radiochemoecology as its division, is discussed.