

## 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ, ИЗУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА

Экология моря – это раздел био- и геоэкологии, изучающий сообщества организмов, населяющих морские воды, их взаимоотношения между собой и с окружающей средой, состояние моря и влияние на него деятельности человека.

Первостепенное значение для экологии моря имеет то, что воды океана представляют собой идеальную среду для обитания и развития организмов. Эта среда:

- богата кислородом и другими необходимыми для жизни веществами;
- содержит большое количество биогенных элементов;
- не подвержена существенным изменениям своих физических и химических свойств.

По мнению крупнейших ученых (А. И. Опарин и др.), жизнь зародилась именно в океане и лишь затем распространилась на пресные воды и пространства суши.

Современная биота океана, представленная огромным разнообразием видов и сообществ живых организмов, – результат длительной эволюции, характерными чертами которой являются: ускорение темпов развития (каждый последующий геологический период короче предыдущего); «волны жизни» – расцвет и затухание разнообразия отдельных систематических групп организмов; усложнение строения организмов; увеличение биоразнообразия и разнообразия сообществ; возрастание роли функций живого вещества в Мировом океане и в географической оболочке в целом.

Всю историю Земли с момента ее возникновения (около 4,5 млрд лет назад) до наших дней делят на два неравных отрезка: докембрийский (время скрытой жизни – криптозой) – его продолжительность около 3,5–4 млрд лет, и фанерозой (время явной жизни), начавшийся примерно 570 млн лет назад. Фанерозой делят на эры: палеозой (время древней жизни), мезозой (время средней жизни) и кайнозой (время новой жизни). Последний четвертичный

период (антропоген) начался 2–2,5 млн лет назад и продолжается по сегодняшний день (табл. 1).

Таблица 1  
Геохронологическая шкала

Эон	Эры	Периоды		Эпохи	Млн лет	
<b>ФАНЕРОЗОЙ</b>	Кайно-зойская (Kz)	Четвертичный (Q)	Антропоген	Голоцен	0,01	
				Плейстоцен	0,8	
				Эоплейстоцен	1,8	
		Третичный (Tr)	Неоген	Плиоцен	5,3	
				Миоцен	23,8	
			Палеоген	Олигоцен	33,1	
	Мезозойская (Mz)	Меловой, или мел (Cr)		Эоцен	54,3	
				Палеоцен	65	
		Юрский, или юра (J)		Верхний мел	98,9	
				Нижний мел	142	
				Мальм	159,4	
	Палеозойская (Pz)	Триасовый, или триас (T)		Долгер	180,1	
				Лейас	205,7	
				Верхний триас	227,4	
				Средний триас	241,7	
				Нижний триас	248,2	
		Пермский, или пермь (P)		Верхняя пермь	256	
				Нижняя пермь	290	
		Каменноугольный, или карбон (C)		Верхний карбон	303	
				Средний карбон	323	
				Нижний карбон	354	
		Девонский, или девон (D)		Верхний девон	370	

Окончание табл. 1

Эон	Эры	Периоды	Эпохи	Млн лет
			Средний девон	390
			Нижний девон	417
		Силурийский, или силур (S)	Готландий	443
		Ордовикский, или ордовик (O)	Ордовик	490
		Кембрийский, или кембрий (Cm)	Верхний кембрый	495
			Нижний кембрый	550
КРИПТОЗОЙ	Протерозойская (Pr)	Венд (V)		605
		Рифей (R)	Верхний рифей	1000
			Средний рифей	1350
			Нижний рифей	1650
		Афебий (A)		2500
	Архейская (Ar)		Верхний архей	3150
			Нижний архей	3550
	Катархейская (Kr)			4000
				4600

В течение криптозоя жизнь на Земле прошла длительный путь эволюции. Она была уже весьма богатой, но сосредоточивалась преимущественно в пределах теплых морских мелководий. К концу криптозоя эволюция животных продвинулась настолько, что они были представлены основными типами беспозвоночных животных, известных и в настоящее время: кишечнополостными (65–70 %), червями (около 25 %) и членистоногими (около 5 %).

Многие из обнаруженных групп не имеют современных аналогов. Основной отличительной особенностью криптозойской

фауны является то, что она была представлена бесскелетными организмами. И хотя некоторые из этих животных имели размер до 1 м в длину, они, вероятно, состояли из желеобразного вещества, подобно современным медузам.

Возникнув в океане, организмы коренным образом трансформировали химические свойства его вод, газовый состав атмосферы. Благодаря своей огромной инерционной способности океаносфера сохраняет константность важнейших экологических параметров – температуры, солености, газов на протяжении 2–3 млрд лет. Благодаря этому гидробионты не выносят резких изменений природных условий, в том числе вызванных антропогенной деятельностью.

Суша была безжизненной, лишенной защитного биологического покрова. Процессы ее разрушения и выноса терригенного осадочного материала в океан были очень интенсивными.

В экосистеме океана четко обособились основные функциональные звенья, состоящие из **продуцентов, консументов и редуцентов**. Эта модель сохраняет постоянство в любых экосистемах Земли до наших дней. Благодаря появлению и расцвету фотосинтезирующих организмов (прежде всего цианей – синезеленых водорослей) в атмосфере появился свободный кислород. Сформировался озоновый экран, защитивший Землю от губительного для живых существ жесткого ультрафиолетового излучения.

С биологической точки зрения содержание свободного кислорода в атмосфере и гидросфере значимо потому, что позволило перейти организмам от использования энергии процессов ферментативного брожения и хемосинтеза к энергетически более эффективному (в 30–50 раз) окислению при дыхании. Именно это послужило причиной настоящего биологического взрыва – массовому возникновению практически всех типов беспозвоночных животных.

Если обратиться к истокам событий, оказавших влияние на формирование современной биологической структуры океана, то оказывается, что подчас они носили драматический характер. История биосфера около 2 млрд лет назад оказалась разделенной на два почти равных отрезка. Вначале жизнь была представлена

только анаэробными одноклеточными доядерными организмами – прокариотами, существовавшими в условиях восстановительной атмосферы из углекислого газа, метана и азота. Второй этап связан с формированием окислительной атмосферы из азота и кислорода. Анаэробные организмы были вытеснены в ограниченные экологические ниши. Их место занял принципиально новый ствол жизни – ядерные организмы-эукариоты, венцом эволюции которых стал человек.

В основе естественного отбора всегда лежат резкие изменения физико-географических (палеогеографических) условий, определяющих формирование новых видовых генотипов и характер распределения и доминирования жизненных форм в биоценозах.

Раскрывая тему эволюционного подхода к объяснению разнообразия жизни в Мировом океане, необходимо обратить внимание на следующие важнейшие события на протяжении фанерозоя.

**Палеозой** (начало около 570 млн лет назад). Облик Земли определялся в Южном полушарии гигантским материком Гондвана, а в Северном – группой континентов: Европейским, Сибирским (Ангарским), Китайским и Североамериканским. К концу палеозоя северные континенты сгрудились и объединились с Гондваной, образовав единый сверхматерик Пангею, окруженный сверхокеаном Панталассом.

В начале палеозоя жизнь развивалась только в океане, суши была пустынной. Постепенно растения и животные вышли на суши, начал формироваться растительный покров и животный мир материков.

Палеозой делится на периоды. В нижнем палеозое выделяются кембрий, ордовик, силур; в верхнем палеозое – девон, карбон, пермь.

**Кембрий.** В океане встречаются представители основных типов беспозвоночных животных. Примечательно, что если в криптоzoе все организмы были мягкотельные, то в начале палеозоя произошел скачок в физиологии большинства беспозвоночных; они обрели твердые известковые или хитиновые покровы. Страницы геологической летописи стали заполняться остатками именно этих ор-

ганизмов. Господствовавшими и самыми развитыми животными в кембрии были трилобиты, относящиеся к членистоногим. Растения были представлены одноклеточными водорослями, входящими в состав фитопланктона, и многоклеточными зелеными, красными, позже бурыми водорослями (макрофитами), образовывавшими подводные заросли на мелководьях.

Все растения и животные размножались путем высева большого количества гамет в воду, где происходило их слияние. Водная среда являлась необходимым условием для жизни всех организмов.

**Ордовик – силур.** Богатая и разнообразная биота океана быстро эволюционировала. Большое распространение получили древние кораллы. По дну ползали трилобиты. Одно из первых мест среди животного мира занимали головоногие моллюски, обитавшие в прямых или слабо изогнутых, украшенных красивым узором раковинах. Характерными представителями иглокожих были морские лилии, длинные стебли которых заканчивались красивой чашечкой с венцом подвижных щупальцев. Значительного разнообразия достигли представители плеченогих, мицанок, брюхоногих и пластинчато-жаберных моллюсков. Появляются примитивные хордовые.

В целом, весь нижний палеозой – это эпоха океанической биосферы, образованной низшими споровыми растениями и беспозвоночными животными.

**Девон – карбон – пермь.** С девона начинается верхний палеозой – начало активного завоевания суши растениями и животными. В эти периоды на поверхности суши впервые появляются леса высших споровых сосудистых растений – гигантских плауновидных, папоротникообразных, хвоевидных. Это обстоятельство значительно ослабило эрозию суши и поступление осадочного материала в океан. Однако развитие растительного покрова еще было ограничено приморскими равнинами. Слоны гор продолжали интенсивно разрушаться.

Эволюция хордовых в океане привела к появлению большого разнообразия рыб. По этому признаку девон называют **эпохой рыб**. От кистеперых рыб произошли древнейшие земноводные

(амфибии). Это время первых попыток амфибий и трахейнодышащих насекомых выбраться на сушу. Для высших растений, рыб и земноводных животных по-прежнему необходимым условием размножения являлся высев гамет в воду. Это служило определенным препятствием для продвижения организмов в глубь суши.

**Мезозой** (начало около 240 млн лет назад). Существовавший в палеозое сверхматерик Пангея, который включал в себя почти всю сушу Земли, стал дробиться. Начали образовываться Атлантический и Индийский океаны. Появились новые обособленные материки: Североамериканский, Евроазиатский, Южноамериканский, Африканский; Австралия и Антарктида были еще едины, однако от них откололись Новая Зеландия и Индостан.

Биогеографические особенности отдельных океанов объясняются их возрастом. Так, более молодая биота Атлантического океана противопоставляется богатой и разнообразной биоте древнего Тихого океана.

В результате раскола Пангеи (рис. 1.1) и образования новых океанов, соединенных проливами, циркуляция вод Мирового океана стала более свободной. Открылся доступ в высокие широты, куда поверхностные течения стали переносить тепло из тропиков. В это время вблизи полюсов поверхностные воды имели температуру около 15 °С. Сезонность климата была слабо выражена. В теплом океане происходило очень вялое конвекционное перемешивание. Основной причиной опускания поверхностных вод было увеличение их солености (и плотности) в результате интенсивного испарения. Такой тип перемешивания слабо вентилировал глубины. Недостаток кислорода в воде привел к массовой гибели глубоководной фауны океана.

**Кайнозой** (начало 60–70 млн лет назад). Океаны и материки приобрели современные очертания. Началось вторичное освоение Мирового океана: покинув сушу, к жизни в море приспособились некоторые цветковые растения (морские травы), пресмыкающиеся (змеи, черепахи), млекопитающие (киты, дельфины), птицы (пингвины) и многие другие.

Открылся пролив Дрейка, отделивший Антарктиду от Южной Америки. Вокруг Антарктиды образовалось кольцо Южного океана

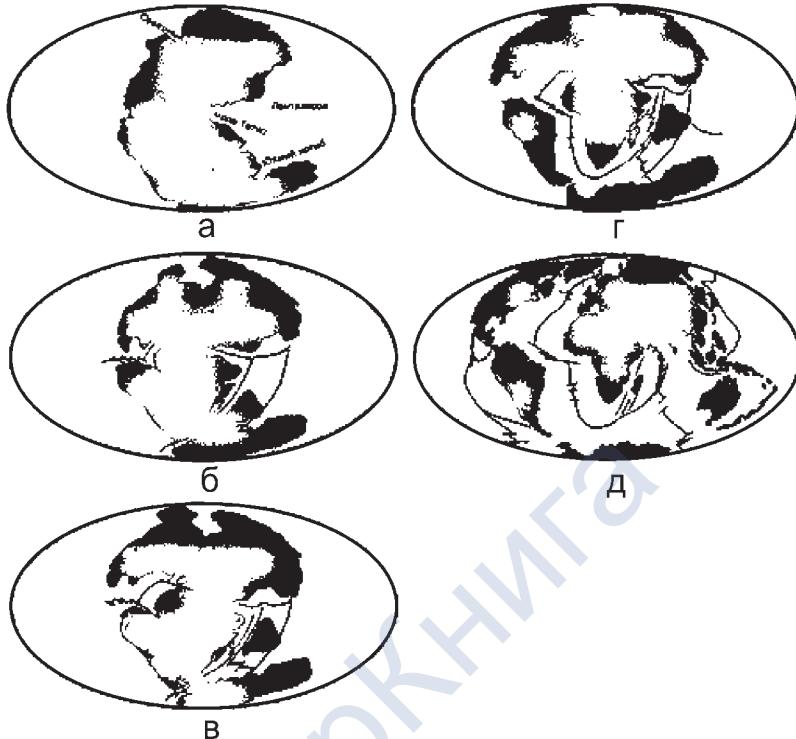


Рис. 1.1. Распад Пангеи:

а – древний массив Пангеи, как он, возможно, выглядел более 200 млн лет назад; б – география земного шара в середине мелового периода (зоны разрастания, трансформные разломы и зоны субдукции показаны тонкими линиями, стрелками показано движение континентов после начала дрейфа); в – география земного шара в конце мелового периода; г – в середине палеогена; д – в современную эпоху

с постоянным дрейфовым течением, изолирующим приполярные области от проникновения теплых тропических вод. Началось выхолаживание Антарктиды, приведшее к ее полному оледенению. Отток холодных вод в глубины океана достиг Северного полушария, вызвав похолодание климата и усиление ледовитости Северного Ледовитого океана.

Благодаря похолоданию в районе полюсов началось активное конвективное перемешивание толщи вод океана. Ведущую роль

стали играть процессы опускания холодных, богатых кислородом вод у берегов Антарктиды. Так образовались глубинные водные массы почти всех океанов. Вентиляция глубин создала благоприятные условия для формирования глубоководной биоты.

Четвертичный период ознаменовался эпохой великих оледенений Северного полушария. Связывание огромных масс воды в ледниковых шапках вызывало регрессии океана, когда материковые окраины почти полностью осушились. Похолодание стимулировало вспышку видеообразования, формирования специфичной арктической и boreальной флоры и фауны мелководий. В это время определились биогеографические особенности Северного Ледовитого океана, происходила смена доминантов основных областей биосферы, определивших облик наиболее распространенных сообществ.

При изучении биологической структуры океана следует иметь в виду разный возраст ее основных подразделений: формирование сообществ на шельфе и материковом склоне относится к далеким докембрийским временам; сообществ ложа океана – к палеозою и мезозою; сообществ глубоководных желобов и впадин – к кайнозою. Характерные для пелагиали сообщества нектона (рыбы, головоногие моллюски, млекопитающие) окончательно сформировались лишь в неогене.

Весь эволюционный путь морской биоты является наглядной иллюстрацией тесного сосуществования живой и неживой материи, адаптационных возможностей жизненных форм нашей планеты, проявлением совершенствования механизмов приспособления живых организмов к изменяющимся условиям среды обитания.

При этом планетарном единстве необходимо отметить огромную разницу в соотношении основных групп живых существ в океане и на суше, обусловленную разницей в условиях сред существования. На суше биомасса животных в тысячу раз меньше биомассы растений. В океане животные по биомассе превышают массу растений в 28 раз. В океане обитает огромное количество видов одноклеточных животных и растений. Подавляющую часть биомассы растений в морях и океанах составляют одноклеточные водоросли, на суше – макрофиты. В океане обитают представители

всех типов и классов организмов. Общее число видов животных составляет 150 тыс., растений – 15 тыс.

Ресурсы океана огромны, но пока еще мало освоены.

Рыболовство составляет 70 % продукции, получаемой человеком в Мировом океане. Основная продукция океана – рыба. Она используется как пищевой продукт. Почти половина улова идет на кормовую муку, технический жир, удобрения.

Из млекопитающих промысловое значение имеют киты, тюлени, моржи, морские котики, каланы (камчатские морские выдры), обладающие прекрасным мехом.

Китовый жир используется для выработки маргарина, мыла, глицерина, олифы. Мясо употребляется в пищу. Из печени, гормонов поджелудочной железы, китового уса изготавливают лекарства.

Из кашалота получают амбру – вещество, применяемое в парфюмерии (удерживает тонкие запахи). Из беспозвоночных животных промысловыми являются устрицы, мидии, морской гребешок, осьминоги, кальмары. Промысловое значение имеют ракообразные: креветки, крабы, омары, лангусты.

Морские водоросли: морская капуста, морской салат также используются в пищевой промышленности. Из водорослейрабатывают йод, агар-агар (применяется в медицине, текстильной и пищевой промышленности). Из ламинарий вырабатывают клей, применяемый при окраске тканей, изготовлении мыла и т.д.

Планктон может служить в качестве пищевого ресурса для человека и может быть использован как сырье для получения витаминов, лечебного жира, лекарств, а также в качестве корма для скота.

Мировой океан обладает также большими минеральными ресурсами, в т.ч.:

- поваренная соль;
- магний (запасы магния в Мировом океане оцениваются в  $2 \cdot 10^{14}$  т);
- нефть и газ (разработки месторождений ведутся на шельфе).

Широко известны минеральные богатства береговой зоны морей и океанов. Сепарирующая деятельность вод и прибоя приводит к

формированию россыпей очень ценных видов полезных ископаемых в прибрежных морских отложениях. К ним относятся золото, алмазы, олово, титаносодержащие минералы, циркон.

Из минеральных ресурсов глубоководных районов океана наибольшее внимание привлекают железо-марганцевые конкреции. Большую ценность представляют конкреции с высоким содержанием никеля, меди, кобальта. В настоящее время США ведут пробные разработки железомарганцевых конкреций в Тихом океане.

Из каждого 10 т химического осадка морской воды, кроме поваренной соли, можно получить 1730 кг сырого гипса, 370 кг калийных удобрений, около 2 т теплоизоляционных материалов, 0,6 кг брома. Общий вес минеральных веществ, содержащихся в морской воде, достигает 50 млрд т.

Велики перспективы использования Мирового океана как источника сырья для ядерной энергетики. В океане содержится не менее 4–5 млрд т урана. Океан – неисчерпаемый резервуар для добычи тяжелых изотопов водорода:дейтерия и трития.

Прогресс в использовании ресурсов океана возможен только на принципах устойчивого развития, а именно извлечения пользы для человечества без нарушения структуры и механизмов функционирования морских экосистем.

Многогранность и взаимосвязанность процессов и функций, характеризующих океаносферу, обусловливает необходимость рассматривать ее как сложную систему взаимосвязи и взаимодействия подсистем. Причем сама система качественно отлична и «принципиально не сводима к составляющим ее подсистемам». Следовательно, для ее познания, во-первых, необходимо изучение составляющих ее подсистем и, во-вторых, изучение законов их взаимодействия и организации в единой системе.

В этом, собственно, и заключаются основные задачи экологии Мирового океана – науки синтетической и вместе с тем аналитической, так как она изучает и главные свойства подсистем, ибо без этих конкретных данных сам синтез невозможен, невозможно познание взаимозависимостей и взаимосвязей.

Научное направление – «экология моря», прежде всего, призвано изучать и прогнозировать влияние на общее состояние морских экосистем экологических факторов.

Морская среда характеризуется специфическим набором экологических факторов, определяющих условия обитания. Как во всякой другой среде, эти факторы можно разделить на абиотические, биотические и антропогенные.

К абиотическим факторам относят, прежде всего, физические или климатические и геологические (свет, температура, влажность, ветер, давление, рельеф, гранулометрический состав донных грунтов и др.); химические факторы (соленость, содержание биогенных элементов, микроэлементов, газов, химсостав донных отложений и др.); биотические факторы (продукционные процессы, трофические связи, внутривидовые и межвидовые конкуренции и сосуществование и др.); антропогенные факторы (использование человеком ресурсов среды, загрязнение им среды, влияние на абиотические и биотические факторы).

Разные экологические факторы обладают различной изменчивостью в пространстве и во времени, могут оказывать на живые организмы ограничивающее, раздражительное, модификационное и сигнальное воздействия. Но в природе экологические факторы действуют комплексно, что и составляет основную сложность изучения их роли в экосистемах.

Разнообразные экологические функции Мировой океан выполняет путем активного взаимодействия водной среды с населяющими ее организмами, атмосферой, литосферой и материковым стоком, а также в ходе протекающих в океане динамических, химических и других процессов. Различают косвенные и прямые экологические функции океана.

Примером первых служит взаимодействие атмосферы и океана. Оно проявляется в различных аспектах, среди которых экологически весьма показателен обмен кислородом между этими средами.

У Мирового океана имеются **общепланетарные функции**: он является мощным регулятором влагооборота и теплового режима Земли, а также циркуляции ее атмосферы. Мировой

океан представляет собой не только колоссальный резервуар воды, но и огромное хранилище запасов тепла, постоянно поступающего в атмосферу и тем самым определяющего условия погоды на Земле. Огромная масса вод океана формирует климат планеты, оказывает влияние на колебание температуры воздуха, накапливая тепло летом и отдавая его зимой, океан служит источником атмосферных осадков. В результате весь механизм атмосферной циркуляции, а следовательно, и формирования земного климата и условий погоды, самым тесным образом связан с Мировым океаном.

Кроме того, океанская вода – место обитания бесчисленного количества микроскопических водорослей, вносящих большой вклад в снабжение земной атмосферы кислородом (путем фотосинтеза). Из него в атмосферу поступает более половины кислорода, и он же регулирует содержание углекислоты в атмосфере, так как способен поглощать ее избыток. Следовательно, Мировой океан выполняет **функции легких нашей планеты**, способствует сохранению постоянного состава воздуха.

По имеющимся оценкам, наиболее интенсивный кислородный обмен в системе океан – атмосфера имеет место в умеренных широтах (особенно Южного полушария), так как здесь скорости ветра максимальны, а средние для всей зоны величины пресыщения поверхностного слоя вод кислородом относительно велики.

Велик обмен кислородом и в тропической зоне, занимающей примерно 60 % площади океана. В связи с этим здесь находятся основные высокопродуктивные районы, в которых слой фотосинтеза пересыщен кислородом на 10–20 % и более, что благоприятно для существования организмов и развития жизни.

Характерным примером прямого воздействия на жизнь морских организмов является температура воды, так как в океане преобладают холоднокровные животные. У многих из них сроки размножения приурочены к определенным температурным условиям. Так, нередко происходит массовая гибель икры и личинок, если в период размножения температура воды стала неблагоприятной. С прогревом и похолоданием вод связаны сроки подхода

рыбы к берегу и ее обратный отход в открытые районы океанов и морей. Показательно также влияние гидростатического давления на организмы: в океанских водах оно увеличивается на 1 атм через каждые 10 м прироста глубины. Формы с известковым скелетом замещаются представителями животных с кремнеземовым или органическим скелетом. В условиях отсутствия света у обитателей больших глубин исчезает пестрота окраски, они становятся однотонными либо совсем обесцвеченными.

Ощутимо действуют на морских обитателей – животных и растения – поверхностные течения в океане. Они переносят огромные массы водорослей на огромные расстояния, увлекают за собой весь планктон, который существует в передвигающихся водах. С течениями перемещаются некоторые виды животных.

Океан, будучи кладовой разнообразнейших ресурсов, также является бесплатной и удобной дорогой, которая связывает удаленные друг от друга континенты и острова. Морской транспорт обеспечивает почти 80 % перевозок между странами, служа развивающемуся мировому производству и обмену. В этом заключается транспортная функция Мирового океана.

Мировой океан также может служить переработчиком отходов. Благодаря химическому и физическому воздействию своих вод и биологическому влиянию живых организмов он рассеивает и очищает основную часть поступающих в него отходов, сохраняя относительное равновесие экосистем Земли. В течение 3000 лет в результате круговорота воды в природе вся вода Мирового океана обновляется.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Что изучает экология моря?
2. Укажите характерные особенности появления, эволюции и современного существования жизни в Мировом океане.
3. Каковы основные различия условий окружающей среды, определяющие существование живых организмов на суше и в Мировом океане?

4. Как используются природные ресурсы океана? Каковы перспективы их рационального использования?
5. Какими должны быть основные подходы к исследованию морских экосистем?
6. Какие основные экологические факторы определяют условия обитания в морских экосистемах?

Моркнига